

Joel Brax

# Tierakenteen mitoitusmenettely

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Rakennustekniikka  
Insinöörityö  
24.4.2012

Tekijä(t) Otsikko	Joel Brax Tierakenteen mitoitusmenettely
Sivumäärä Aika	39 sivua + 8 liitettä 24.4.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Koulutuspäällikkö Simo Hoikkala Erityisasiantuntija Markku Pienimäki Erityisasiantuntija Jari Pihlajamäki
<p>Tämän insinööriityön tavoitteena oli kehittää FINNMAP Infra:n nykyistä tien mitoitusmenettelyä. Kehitystyön yhteydessä perehdyttiin Liikenneviraston asettamiin vaatimuksiin ja olemassa olevaan teoriaan tierakenteen mitoittamisesta.</p> <p>Työ toteutettiin etsimällä nykyisestä mitoituskäytännöstä parannusideoita, joilla mitoittajan ja suunnittelijoiden työtä voitaisiin tehostaa.</p> <p>Tulokseen päästiin haastatteleamalla FINNMAP Infra:ssa työskenteleviä tiesuunnittelun erityisasiantuntijoita, sekä käymällä vaiheittain läpi nykyinen mitoituskäytäntö ja siihen liittyvä teoria.</p> <p>Teorian, käytäntöjen ja vaatimusten perusteella saatiin nykyisestä mitoituskäytännöstä irrotettua kehitykseen sopivia osakokonaisuuksia. Parannusehdotukset käytiin läpi yhteistyössä mitoituksen ja suunnittelun parissa työskentelevien henkilöiden kanssa.</p> <p>Insinööriityössä kehitetyt parannustoimenpiteet tullaan toteuttamaan lähitulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	tierakenne, mitoitusmenettely

Author(s) Title	Joel Brax Pavement design procedure
Number of Pages Date	39 pages + 8 appendices 24 April 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Environmental Construction
Instructor(s)	Simo Hoikkala, Training Manager, Metropolia Markku Pienimäki, Senior Specialist, FINNMAP Infra Oy Jari Pihlajamäki, Senior Specialist, FINNMAP Infra Oy
<p>The objective of this thesis was to develop FINNMAP Infra's current pavement design procedure. The development was based on the requirement of the Finnish Transport Agency and on an existing theory about pavement design characteristics.</p> <p>The work was carried out by going through the current pavement design procedure and by finding ways to improve and make the designers work more efficient.</p> <p>The goal was reached by interviewing FINNMAP Infra's Senior Specialists in the field of pavement design and by going through the current pavement design procedure step by step.</p> <p>By going through the theory, practice and the requirements could developable sub-assemblies could be isolated from the current practice. All the improvement ideas were discussed and thought through in co-operation with people working in the field of pavement and road design.</p> <p>The improvement ideas that were developed will be put into practice in the near future.</p>	
Keywords	pavement, pavement design procedure

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta ja tavoite	1
1.2	Opinnäytetyön rakenne	1
2	Tierakenteen mitoittaminen	2
2.1	Palvelutaso	2
2.2	Tierakenne	3
2.3	Sitomattomat materiaalit	5
2.4	Sidotut materiaalit	7
2.4.1	Päällysteen valinta	7
2.4.2	Hydraulisesti sidotut materiaalit	9
2.5	Alusrakenteen määrittely	10
2.6	Kuormituskestävyyden mitoittaminen	12
2.6.1	Kuormituskertaluku	12
2.6.2	Kuormitusluokat	14
2.6.3	Odemarkin menetelmä	15
2.7	Routamitoitus	16
2.7.1	Sallittu laskennallinen routanousu	19
2.7.2	Sulamispehmeneminen	20
3	Tyypillinen FMI:n mitoituskäytäntö	21
3.1	Valmiiden taulukoiden hyödyntäminen	22
3.2	Lähtötiedot	23
3.2.1	Tierekisteri	23
3.2.2	Kuormituskertaluvun laskenta	24
3.3	Kuormituskestävyyden mitoitus	24
3.4	Routamitoitus	26
3.4.1	Materiaalivaihtoehdot	27
3.5	Kustannusvertailu	28
4	Nykyisen mitoituskäytännön kehittäminen	29



4.1	Kustannusvertailun tehostaminen	29
4.1.1	Kustannusvertailun nykytilanne	29
4.1.2	Kustannusvertailun kehitys	29
4.2	Materiaalitaulukko	30
4.3	Olemassa olevien taulukoiden hyödyntäminen	32
4.4	Uuden rakenteen luonti käyttäen Odemarkin menetelmää	35
4.5	Geoteknikon alusrakennetaulukko	36
4.6	Päällysrakenteen siirto suunnittelujärjestelmään	37
5	Johtopäätökset	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Suurin sallittu laskennallinen routanousu	
	Liite 2. Mitoitusroutan syvyys	
	Liite 3. Materiaalien vastaavuuskertoimet	
	Liite 4. Leveyskerroin	
	Liite 5. Kuormituskertaluvun laskeminen ja kuormitusluokan määrittäminen	
	Liite 6. Kuormituskestävyyden laskeminen Odemarkin kaavalla	
	Liite 7. Sallittu laskennallinen routanousu	
	Liite 8. Prosessikuvaus	

## Lyhenteet

FMI	FINNMAP Infra Oy
KVL	Keskimääräinen vuorokausiliikenne
KKL	Kuormituskertaluku
SMA	Yleinen vilkasliikenteisen tien asfalttipäällyste
AB	Asfalttibetoni, yleisesti käytetty tien kulutuskerrosmateriaali
PAB-B	Pehmeä asfalttibetoni, käytetään yleensä vähäliikenteisillä teillä
PAB-V	Pehmeä asfalttibetoni, käytetään yleensä erittäin vähäliikenteisillä teillä
ABS	Sidekerroksen asfalttibetoni (ABS)
ABK	Kantavan kerroksen asfaltti (ABK)
TSV	Tasausviiva, kuvaa tien korkeusasemaa

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta ja tavoite

Tämä opinnäytetyö tehdään FINNMAP Infra Oy:lle (FMI), joka on yksityinen infrastruktuurin ja ympäristön suunnitteluun erikoistunut konsulttitoimisto. Toiminta käsittää suunnittelun esi- ja hankesuunnittelusta rakennussuunnitteluun sekä työmaapalveluun. Yrityksen suunnittelutoimialoihin kuuluvat geo-, katu-, rata- sekä tietotoimialat. Näiden lisäksi toimintaa on myös maaperätutkimusten ja mittausten parissa.

Työn tavoitteena on kehittää, tehostaa ja täsmentää suunnittelijoiden työtä tierakenteen mitoituksen ja päällysrakennesuunnittelun osalta. Tulokseen pyritään hyödyntämällä kertynyttä rakenteen suunnittelu- ja mitoituskokemusta ja käytäntöjä sekä kehittämällä toimintatapoja, joilla kertynyttä osaamista voidaan jatkossa entisestään tehostaa.

Mitoitukseen perehdyttiin laajemmin syksyllä 2011 projektityössä, jossa tierakenteen mitoitusprosessi ja siihen vaikuttavat osatekijät käytiin läpi kokonaisvaltaisesti. Opinnäytetyötä varten perehdyttiin FMI:n nykyiseen tien rakenteelliseen suunnitteluun ja harjoiteltiin käytännön mitoitusta. Perehtymisen jälkeen poimittiin nykyisestä mitoituskäytännöstä sarja kehitykseen soveltuvia osakokonaisuuksia.

## 1.2 Opinnäytetyön rakenne

Työssä käsitellään aluksi tierakennetta, tierakenteen mitoittamista yleisesti sekä tarkastellaan tyypillistä tierakenteen suunnitteluprosessia. Seuraavassa luvussa käydään läpi FMI:n nykyinen suunnittelukäytäntö. Suunnittelukäytäntö sisältää hankkeen lähtötietojen hankinnan sekä vaihekohtaisesti tielle tehtävät mitoitusmenpiteet. Luvussa 4 käydään läpi mitoitusprosessista irrotetut kehitykseen soveltuvat osakokonaisuudet.

## 2 Tierakenteen mitoittaminen

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tierakenteen mitoittamista Liikenneviraston ohjeen ”Tierakenteen suunnittelu (TIEH 2100029-04)” mukaan. Työ sisältää lisäksi FMI:n tie-suunnittelun erityisasiantuntijoiden haastatteluja, kokemuksia ja käytännön näkökohtia tierakenteen suunnittelun ja mitoittamisen osalta. Tässä opinnäytetyössä mitoittamisella tarkoitetaan tien rakenteellista mitoittamista.

Tierakenne mitoitetaan liikennekuormitusta ja routimista vastaan. Paksummat rakennekerrokset estävät roudan tunkeutumista sekä kuormituksesta aiheutuvien muodonmuutosten syntymistä tierakenteessa. Lisäksi materiaalivalinnoilla voidaan edistää roudasta ja kuormituksesta aiheutuvien rasitusten minimointia. [1, s. 25.]

Liikenne eli tiellä liikkuvat ajoneuvot ovat tietysti pääasiallinen kuormitus tierakenteelle. Tämän lisäksi tiehen syntyy huomattavia rasituksia ympäristötekijöiden vaikutuksesta. Tietä kuormittavia tai rasittavia ympäristötekijöitä ovat routa, lämpötilan muutokset, sade, lumi, lumen sulaminen ja auringon säteily. Tien kunnossapitotoimet, kuten suo-  
laus ja lumenpoisto, lisäävät ympäristötekijöiden kuormituksia [2, s. 31.]

### 2.1 Palvelutaso

Suunnittelun tavoitteena on saada tielle haluttu palvelutaso. Palvelutasolla tarkoitetaan tien liikennöitävyyttä. Palvelutasoa voidaan katsoa monelta kannalta. Tienkäyttäjien kannalta palvelutaso vaikuttaa liikenneturvallisuuteen, ajomukavuuteen ja nopeuteen, lähistöllä asuvien kannalta melutasoon ja tienpidon kannalta kunnossapitokustannuksiin. [1, s. 10.]

Tierakennetta suunniteltaessa palvelutaso otetaan huomioon monella tapaa. Routa- ja kuormituskestävyys huomioidaan suunnittelussa valitsemalla sopiva rakennetyyppi, kerrokset sekä niiden materiaalit. Alimitoittamalla tierakenteet tie voi altistua muun muassa deformaatiolle ja routimiselle, mikä merkitsee käyttöiän huomattavaa vähene-  
mistä. Ylimitoittamalla tierakenteet saadaan aikaan tehoton elinkaari. [1, s. 16-23.]

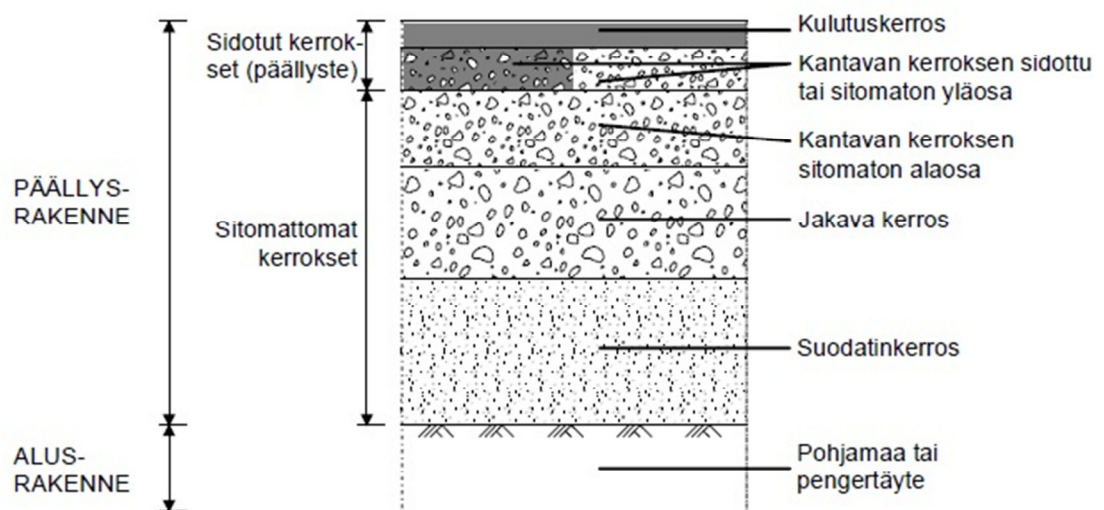
Suunnittelussa tulisi huomioida myös, onko tie vilkas- vai vähäliikenteinen. Vilkaasti liikennöityjen teiden mitoituksessa pyritään siihen, että päällysteet pysyvät ehjinä

mahdollisimman pitkään, jotta niiden muoto, jäykkyys ja vesitiiviys säilyisivät. Vähäliikenteisillä teillä taas pyritään valitsemaan vettä sietävä kantava kerros ja sitkeä päällyste, jotta päällysteen vaurioitumisnopeus olisi riittävän hidasta. [1, s. 16.]

Tierakenteen palvelutaso muuttuu vähän jatkuvasti. Palvelutasoa voidaan ylläpitää valitsemalla hyvin kestäviä materiaaleja (kulutusta kestäviä, meluominaisuutensa pitkään säilyttäviä päällysteitä sekä pysyviä muodonmuutoksia ja halkeamia vastustavia kerrosmateriaaleja) tai käyttämällä sopivia ja riittäviä ylläpitotoimia. Tierakenteen suunnittelua ohjaavat Liikenneviraston asettamat normit ja ohjeet. [1, s. 10.]

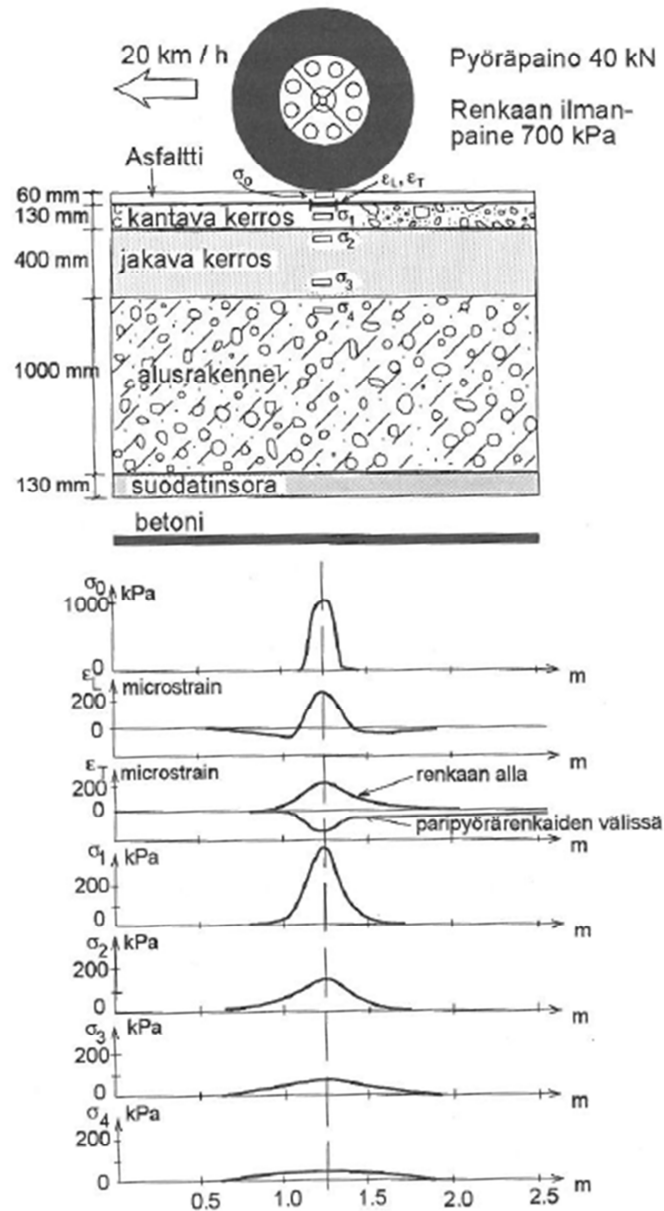
## 2.2 Tierakenne

Tierakenne koostuu tien pohjana toimivasta alusrakenteesta sekä rakennekerroksista muodostuvasta päällysrakenteesta. Tyypillisessä tierakenteessa päällysrakenne koostuu suodatinkerroksesta, jakavasta kerroksesta, kantavasta kerroksesta sekä kulutuskerroksesta. Lisäksi päällysrakenne jaotellaan sidottuihin ja sitomattomiin kerroksiin. [3, s. 5]



Kuva 1. Tierakenne [7, s. 11].

Päällysrakenteen tehtävä on minimoida liikenne- ja ympäristökuormitusten aiheuttamat jännitykset ja taipumat rakenteessa. Jokaisella rakennekerroksella on oma tehtävänsä kuormitusten minimoinnissa.



Kuva 2. Pyöräkuorman aiheuttama jännityksen jakautuminen päällysrakenteessa [2, s. 303].

### 2.3 Sitomattomat materiaalit

Tierakenteessa sitomattomat kerrokset ovat tavallisesti kantava kerros (kantavan kerroksen alaosa), jakava kerros ja suodatinkerros. Jakavan ja suodatinkerroksen tarpeellisuus riippuu alusrakenteen laadusta. Alusrakenteen ollessa routiva tulee suodatinkerrosta käyttää. Mikäli käytössä on paljon mursketta, voidaan suodatinkerros korvata rakentamalla murskeesta routivuusvaatimukset täyttävä rakenne.

#### *Kulutuserros*

Kulutuserroksen tehtävänä on toimia tasaisena ja kulumista kestävä alustana liikenteelle. Lisäksi päällyste estää veden pääsemistä alempiin rakennekerroksiin. [3, s. 5.]

Päällysteen tyyppi ja paksuus määräytyvät tien kuormitusluokan perusteella. Päällysteet ovat vilkasliikenteisillä teillä asfalttipäällysteitä. Vähäliikenteisillä teillä ja yksityisteillä käytetään sorapintaisia päällysteitä. Poikkeuksena PAB-B ja PAB-V, jotka ovat vähäliikenteisen tien asfalttipäällysteitä. [3, s. 5.]

#### *Kantava kerros*

Kantava kerros vastaanottaa liikenteestä aiheutuvia jännityksiä ja muodonmuutoksia. Kantava kerros jakaa liikennekuormituksen laajemmalle alueelle rakenteen alempiin kerroksiin. Lisäksi kerros toimii tasaisena alustana päällysteelle ja auttaa päällysteen läpi tulevien vesien kuivatuksessa. Kantava kerros rakennetaan aina kallio- tai sora-murskeesta. [3, s. 6.]

#### *Jakava kerros*

Jakava kerros toimii kuormia jakavana kerroksena ja lisää rakenteen kantavuutta sekä roudankestävyyttä. Jakava kerros ottaa vastaan liikenteestä aiheutuvat leikkausjännitykset ja muodonmuutokset. Lisäksi kerros toimii apuna päällysteen ja kantavan kerroksen läpi tulevan veden pois johdattamisessa. Jakavalla kerroksella pyritään myös katkaisemaan kapillaarisen veden nousemisen. Tyypillisesti jakava kerros rakennetaan sorasta tai murskeesta. [3, s. 6-7.]

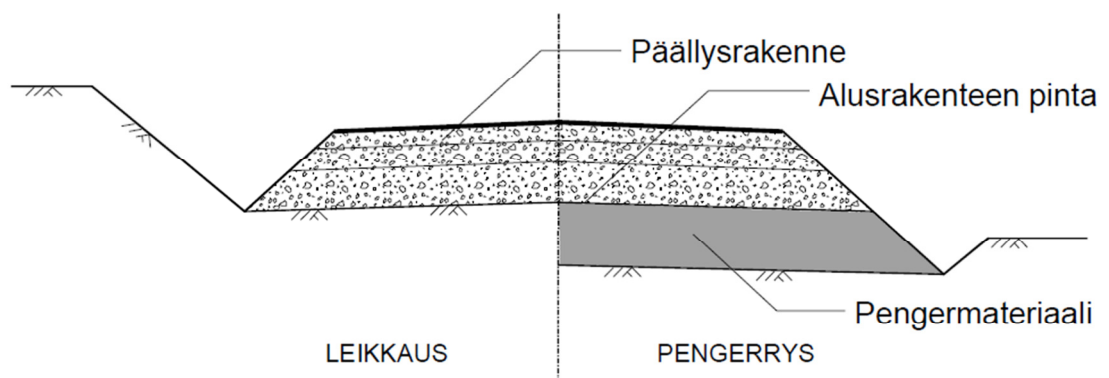
### *Suodatinkerros*

Suodatinkerroksen tehtävä on estää alusrakenteen (penkereen tai pohjamaan) ja ylempien kerroksien sekoittuminen keskenään sekä lisätä tierakenteen kantavuutta. Lisäksi kerros toimii kapillaarisen veden katkaisijana rakennekerroksen päällä oleviin rakenteisiin ja hidastaa roudan tunkeutumista alla olevaan pohjamaahan. Suodatinkerroksen materiaalina on tyypillisesti hiekka. [3, s. 7.]

Kaikkien päällysrakennekerrosten materiaalin tulee olla lujaa, sulamis-jäätymiskestävää ja rakeisuudeltaan sopivaa, jotta vaadittu routimattomuus, vedenläpäisevyys ja kuluminkestävyys saavutetaan. Kerrosten materiaalin tulisi olla myös hyvin tiivistettävissä. [3, s. 5-7.]

### *Alusrakenne*

Tien tasauksesta riippuen käsittää alusrakenne sekä pohjamaan että pengertäytteen. Tien tasauksen ollessa korkeammalla kuin maanpinta käytetään pengerrakennetta. Tasauksen ollessa leikkauksessa tie rakennetaan pohjamaan varaan. Alusrakennetta rakennettaessa tulee ottaa huomioon, että maaperä tarjoaa routasyvyyden rajoissa mahdollisimman tasaiset routanousut ja sulamisvaiheen siirtymät. [3, s. 7.]



Kuva 3. Alusrakenne [12, s. 3].



## 2.4 Sidotut materiaalit

Sidotulla rakenteella tarkoitetaan joko bitumilla tai hydraulisesti sidottuja materiaaleja. Sidottuja rakenteita käytetään pääasiallisesti tien kulutuskerroksessa ja sidotussa kantavassa kerroksessa. Sidottu rakenne muodostuu kiviaineksesta, sideaineesta (mastikista) ja tyhjätilasta. [2, s. 231.]

### 2.4.1 Päällysteen valinta

Päällyste valitaan käyttökohteen mukaan. Keskimääräinen vuorokausiliikenne sekä raskaan liikenteen osuus ohjaavat päällysteen valintaa. Päällystevalinnalla voidaan myös vaikuttaa esimerkiksi tien melutasoon ja tienpinnan valonheijastavuuteen. Tyypillisiä tiepäällysteitä ovat asfaltit sekä sorapinnat. [11.]

Asfalttilaatuja on useita. Bitumin määrällä ja kiviaineksen rakeisuudella voidaan asfalttipäällysteen pinnan sileyttä ja kulutuskestävyyssominaisuuksia säädellä. Käyttämällä pientä kiviaineksen maksimiraekokoa saadaan tasainen tienpinta, mutta samalla asfaltin kulutuskestävyys heikkenee. [11.]

Kiviaineksen karkea osa muodostaa rakenteen kantavan rungon. Pienemmät rakeet täyttävät karkeiden rakeiden väliin jäävää tilaa. Bitumi yhdessä siihen laastimaisesti sitoutuneen hienoaineksen kanssa muodostaa ns. mastiksin, joka täyttää pienemmät raot ja liimaa massan rakeet toisiinsa. Bitumilla sidottu rakenne pyritään tekemään tiiviiksi, jotta sen mekaaninen lujuus (jäykkyys) olisi suuri ja toisaalta sään rapauttava vaikutus jäisi pieneksi. [2, s. 231.]

Alhaisissa lämpötiloissa päällysteeseen syntyy talvella poikkisuuntaisia halkeamia, kun päällyste kutistuu. Pakkasenkestävyyteen vaikuttaa eniten käytettävä sideainelaatu. Pehmeä bitumi kestää paremmin alhaisia lämpötiloja päällysteen halkeamatta kuin kova bitumi. Kumibitumin käyttö sideaineena parantaa päällysteen pakkasenkestävyyssominaisuuksia. Pakkasenkestävyyttä suunniteltaessa pitää huomioida deformaatiokestävyys, joka on yleensä pakkasenkestävyyttä merkittävämpi. [4, s. 91-101,] [8, s. 55.]

**SMA** on asfaltti, jonka pääosan muodostaa karkea, lähes tasarakeinen murskattu kiviaines. Karkean aineksen muodostaman kiviainesrungon tyhjätilan täyttää stabiloitu mastiksi. Kivimastiksiasfalttia (SMA) käytetään kulutuskerroksen materiaalina vilkkaasti liikennöidyillä teillä, koska SMA kestää paremmin kuin asfalttibetoni nastarenkaiden aiheuttamaa kulutusta. Korkeamman hinnan takia SMA:ta ei käytetä vähäliikenteisillä teillä. [4, s. 93.]

**Asfalttibetoni AB** on kiviaineksen ja bitumisen sideaineen seos, jonka rakeisuuskäyrä on jatkuva, ja jonka sideaineen tunkeuma 25 °C:ssa on alle 330 1/10 mm. Asfalttibetonia (AB 6 ... AB 22) käytetään kulutuskerroksen materiaalina päällystetyillä teillä luukuun ottamatta kaikkein vilkkaimmin liikennöityjä teitä. Asfalttibetonia käytetään myös tasaus-, pinta- ja paikkausmassana sekä kevyen liikenteen väylillä. [8, s. 40][4, s. 93.]

**Pehmeä asfalttibetoni PAB-B** on kiviaineksen ja bitumisen sideaineen seos, jonka rakeisuuskäyrä on jatkuva ja jonka sideaineen tunkeuma 25 °C:ssa on yli 330 (mittayksikkönä 1/10 mm). Pehmeää asfalttibetonia (PAB-B) käytetään kulutuskerroksen materiaalina kevytpäällysteisillä teillä, kun KVL on 500 – 2500 ajoneuvoa / vrk. [4, s. 100.]

**PAB-V** on PAB-B:n kaltainen asfalttibetoni, mutta sitä käytetään vielä vähemmän liikennöidyillä teillä (KVL 200 - 1500 ajoneuvoa / vrk). Pehmeiden asfalttibetonien etuna on, että ne sietävät roudasta aiheutuvat liikkeet. [4, s. 102.]

**Sidekerroksen asfalttibetonia (ABS)** käytetään kulutuskerroksen ja kantavan kerroksen välisenä materiaalina kestopäällysteisillä teillä ja kentillä, joilla liikennemäärä ja kuormitus ovat huomattavan suuria [5].

**Kantavan kerroksen asfalttibetonia (ABK)** käytetään kantavan kerroksen materiaalina kestopäällysteisillä teillä ja kaduilla. Kantavan kerroksen asfalttibetoni ottaa vastaan kulutuskerroksesta välittyviä kuormia ja lisää näin ollen rakenteen kantavuutta. [5.]

#### 2.4.2 Hydraulisesti sidotut materiaalit

**Sementtistabilointi (SST)** on menetelmä, jossa sekoitetaan keskenään sementtiä, vettä ja stabiloitavaa kiviainesta siten, että vesi muodostaa yhdessä sementin kanssa sementtiliiman, joka kovettuessaan sitoo kiviainesrakeet toisiinsa. Sidoksen lujuus riippuu käytetyn sementin pitoisuudesta, sementtilaadusta, vesi-sementtisuhteesta, kiviaineksen rakeisuudesta, stabiloidun kerroksen tiiveydestä ja iästä. Sementtistabilointi sopii erityisen hyvin kohteisiin, missä tarvitaan suurta kantavuutta ja kuormituskestävyyttä ja/tai voidaan käyttää ohuita rakenteita ja sementtistabilointia uusien routimattomiksi rakennettujen teiden rakennuskerroksiksi. [9, s. 18.]

**Jyräbetoni** on maabetonin (kts. sementtistabilointi) kanssa hyvin samantyyppinen materiaali. Jyräbetonin vahvuuksia ovat suuri pistekuormien kesto, raskaan liikenteen kuormitusten kesto, öljy- ja polttoaineroiskeiden sietokyky sekä hidas urautuvuus. Hyvien kestävyysominaisuuksiensa takia jyräbetonia käytetäänkin lähinnä teollisuusalueilla ja satamissa.

**Masuunihiekkastabilointi (MHST, MHST-A)** on menetelmä, jossa sideaineena käytetään terästeollisuuden sivutuotetta masuunihiekkaa. Masuunihiekan kemiallinen koostumus on samantapainen kuin sementillä ja sitoutumisen avulla saadaan aikaan rakenne, joka ominaisuuksiltaan muistuttaa sementtistabilointia. Tarvittaessa käytetään masuunihiekan sitoutumisreaktion nopeuttamiseksi sementtiä aktivoijana. Sementin lisäyksellä voidaan tarvittaessa myös vähentää hienoa-ainespitoinen stabiloitavan materiaalin deformaatioherkkyyttä tai humuksen vaikutusta. Masuunihiekan sitoutumisreaktio on hitaampi kuin sementillä, joten masuunihiekkastabiloidun kerroksen työstöaika on pidempi sementtistabilointiin verrattuna. Masuunihiekalla on myös kyky sitoutua osittain uudelleen. Masuunistabilointia etuja ovat mm. kantavuuden parantaminen, roudan vastustuskyky ja aineen uudelleensitoutumiskyky. [9, s.18.]

**Komposiittistabiloinniksi (KOST)** sanotaan yleisesti materiaaleja, joissa käytetään samassa päällysrakenteen kerroksessa bitumista ja hydraulista sideainetta. Tarkoituksena on yhdistää bitumisen ja hydraulisen sideaineen parhaat ominaisuudet. Bitumisella sideaineella ne ovat joustavuus ja kestävyys epätasaisia painumia ja routanousuja vastaan kun taas hydraulisen sideaineen antama etu on rakenteen parhaan mahdollisen kuormituskestävyyden ja kestoiän saavuttaminen. [9, s. 37.]

**Vaahtobitumistabilointi (VBST)** on menetelmä, jossa sekoitetaan vettä kuumaan bitumiin ylipaineessa ja seoksen annetaan purkautua alempaan paineeseen. Seoksen purkautuessa sekoituskammiosta normaaliin ilmanpaineeseen vesi höyrystyy hyvin nopeasti ja saa aikaan bitumin vaahtoutumisen. Sekoituksen tulee tapahtua tänä aikana, koska silloin sideaineen pinta-ala on suurimmillaan. Kun vaahtotettu bitumi sekoittuu kylmään ja kosteaan kiviainekseen, se sitoo hienoaineksen.

**Bitumiemulsiostabilointi (BEST)** on menetelmä, jossa bitumi lisätään emulsiona kylmään ja kosteaan kiviainekseen. Bitumiemulsiosta on bitumia noin 60-75 massa-%. Emulsion bitumipitoisuus tulee selvittää tapauskohtaisesti ennen suhteutusta. Emulsi-  
ossa bitumi on jakautunut pieniksi pisaroiksi veteen. Joutuessaan kosketukseen kivi-  
pinnan kanssa emulsio murtuu. Emulsion murtuessa vesi erottuu emulsiosta, jolloin  
bitumipisarot tarttuvat kiviainesrakeisiin ja toisiinsa muodostaen sidoksia kivirakeiden  
välille.

## 2.5 Alusrakenteen määrittely

Alusrakenne käsittää tien pohjamaan sekä pengertäyteen. Tien alusrakennetta määriteltäessä arvioidaan pohjamaan olomuotoa ja sen tasa- tai epätasaisuutta. Pohjamaan olomuodolla tarkoitetaan mitoitettavan tien tasausviivan korkeusasemaa verrattuna pohjamaan pintaan ja mitoitusroudan korkeusasemaan periaatteella:

- **kuiva:** Penkereet, joiden pengerkorkeus on suurempi kuin mitoitusroudansyvyys  $S$  (1,5...2,2 m).
- **märkä:** Paikat, joita ei edellisten kohtien mukaan voida osoittaa kuiviksi eikä kohde ole poikkeuksellisen märkä eli pohjaveden pinta (HW) on alle  $S + 0,5$  m syvyydessä tsv:stä mutta kuitenkin yli 1,2 m syvyydessä.
- **veden virtaus sivulta:** Paikat, joissa routarajalle kulkeutuu (paineellista) vettä tien sivulta siten, että veden lämpö määrä vaikuttaa roudan syvyyteen ja aiheuttaa epätasaisia routimista.
- **sekalaatuinen:** Pohjamaa on sekalaatuista (epätasalaatuista).

- **tasalaatuinen:** Muu kuin sekalaatuinen (epätasalaatuinen) eikä veden virtausta sivulta esiinny.
- **jäykkä, kiinteä savi:** Leikkauslujuus  $s_u \geq 40$  kPa vähintään 1 m paksuudella alusrakenteen pinnassa.
- **pehmeä savi:** Leikkauslujuus  $s_u < 40$  kPa.

Alusrakenteen materiaalin kelpoisuusluokka määritetään rakeisuuskäyrän perusteella. Luokittelua tehtäessä otetaan huomioon alusrakenteen 1 metrin kerros, kun humus, multa yms. on poistettu. Kelpoisuusluokka kuvaa maamateriaalin soveltuvuutta tierakenteeseen tai penkereeseen ja kyseisen pohjamaatyypin soveltuvuutta tien alusrakenteeksi. [1, s. 36.]

Pohjamaan tasa- tai sekalaatuisuus määritetään yleensä geoteknikon toimesta. Maamateriaalit on ryhmitelty kelpoisuusluokan ja olomuodon mukaan taulukkoon 1, josta saadaan alusrakenneluokka. Taulukon perusteella saadaan alusrakenteelle routaturpoama (t) ja Odemarkin kantavuusmitoituksessa käytettävä moduuli (E). [1, s. 36-37.]

Taulukko 1. Alusrakennetaulukko. [1, s. 37]

Luokka	A	B	C	D	uE	uF	uG	uH	uI
Moduuli MPa	280	200	100	70	50	35	10	20	20
t-arvo, %	0	0	0	0	3	6	6	12	16
Maalaji tai kelpoisuusluokka ja märkyys	Louhe	Murske	kuS1 mS1	kuS2 kuH1 mH1	mS2 kuS3 kuH2 mH2	mS3 kuH3-4 kuS4 jäySa staSi staSiMr staSa	pehSa Lj	mS4 mH3-4 kuSi kuSiMr  kerrall. kuSa/Si	mSi, mSiMr,  kerrall. mSa/Si

Taulukon merkinnät: **ku** = kuiva, **m** = märkä ja normaali, **sta** = stabiloitu  
**jäy** = jäykkä ( $s_u \geq 40$  kPa), **peh** = pehmeä ( $s_u < 40$  kPa), **kerrall.** = kerrallinen

Alusrakenneluokan kirjainlyhenteen edessä oleva pieni u-kirjain tarkoittaa, että alusrakenteen tasalaatuisuutta ei tunneta tai sitä ei ole tutkittu. Kun tasalaatuisuus tunnetaan, korvataan u-kirjain kirjaimella t (tasalaatuinen) tai kirjaimella s (sekalaatuinen). [1, s. 36-37.]

## 2.6 Kuormituskestävyyden mitoittaminen

Tierakenteen kuormituskestävyyden mitoittamiseen on olemassa useita mitoitusmenetelmiä, jotka painottavat tierakenteen ominaisuuksia toisistaan poikkeavilla tavoilla. Yleisiä mitoitusmenetelmiä ovat muun muassa: Odemarkin menetelmä ja monikerrosmenetelmä. Tavanomaisessa tiesuunnitteluhankkeessa tilaajaorganisaatio asettaa ehdot käytettävän mitoitusmenetelmän suhteen. Tässä opinnäytetyössä perehdytään tien rakenteelliseen mitoittamiseen käyttäen Odemarkin menetelmää, joka on Suomessa pääasiassa käytössä oleva menetelmä.

### 2.6.1 Kuormituskertaluku

Kuormituskertaluvulla (KKL) kuvataan liikenteen aiheuttamaa rasitusta mitoituskohtassa tapahtuvien standardiakselien ylityskertojen lukumäärällä. Suomessa käytetään standardiakselina 100 kN painoista paripyörin varustettua akselia. Kuormituskertalukua laskettaessa suhteutetaan ajoneuvoyhdistelmien ja muiden raskaiden ajoneuvojen rasitus standardiakseliin. [1, s. 25.]

Tien kuormituskertaluku saadaan laskettua käyttämällä kuormituskertaluvun laskukaavoja (kaavat 1, 2, 3, 4, 5). Lähtötiedot kuormituskertaluvun laskentaa varten saadaan tarkasta liikenneselvityksestä, hankkeen lähtötiedoista tai tierekisteristä. [1, s. 26.]

Kuormituskertaluku määritetään kaistakohtaisena. Kaistakohtaisen kuormituskertaluvun tarkastelussa arvioidaan 10 vuoden kuluttua tien avaamisesta olevia päivittäisiä ajoneuvomääriä raskaan liikenteen osalta. Raskas liikenne jaetaan kahteen eri tyyppiin: ajoneuvoyhdistelmiin ja muihin raskaisiin ajoneuvoihin. Kummallakin tyyppillä on oma vastaavuuskertoimet, jolla kuvataan tämä ajoneuvotyyppi kuormitusta suhteessa standardiakselia vastaavaan kuormitukseen. Kaksikaistaisen tien kuormituskertaluku muodostuu: liikennemääräennusteesta, kaistojen lukumäärästä ja laskentakaavasta. Useampikaistaisen tien mitoittamiseen käytetään laskennallisia lisäparametreja. [1, s. 26.]

Kun keskimääräinen vuorokausiliikenne on suurempi kuin 600 ajoneuvoa päivässä ja käytettävissä on luotettava liikennelaskentatulokset ja -ennuste, saadaan kaistakohtainen kuormituskertaluku laskettua kaavalla 1.

## Kaava 1

$$KKL_{KAISTA} = L * (2.9 * KA_{YHD} + 0.8KA_{MUU}) * 7300$$

Mikäli tarkkaa ja luotettavaa liikennelaskentatietoa ei ole käytettävissä ja tien keskimääräinen vuorokausiliikenne on pienempi kuin 600 ajoneuvoa päivässä, saadaan tien kaistakohtainen kuormituskertaluku kaavoilla 2, 3, 4, 5:

## Kaava 2 (valta- ja kantatiet)

$$KKL_{KAISTA} = 0,20 * L * KVL_{Suunta} * 7300$$

## Kaava 3 (seututiet)

$$KKL_{KAISTA} = 0,12 * L * KVL_{Suunta} * 7300$$

## Kaava 4 (yhdystiet)

$$KKL_{KAISTA} = 0,09 * L * KVL_{Suunta} * 7300$$

## Kaava 5 (seutu- ja yhdystiet, kun raskaista ajoneuvoista 20...25% täysin kuormattuja)

$$KKL_{KAISTA} = 0,14 * L * KVL_{Suunta} * 7300$$

Kun vähäliikenteisellä tiellä on selvä raaka-ainelähde tai kohde eli kuin kuljetukset tehdään vain toiseen suuntaan täydellä kuormalla ja vain toinen kaista kuormittuu, lasetaan kaistakohtainen kuormituskertaluku kaavalla 6:

## Kaava 6

$$KKL_{KAISTA} = L * (KA_{YHD:TÄYSI} + 1,9 * KA_{YHD:TYHJÄ} + 0,8 * KA_{MUU}) * 7300$$

Jossa,

$L$  on tien ja pientareen yhteisleveyden määräämä leveyskerroin (Liite 4)

$KA_{YHD}$  on ajoneuvoyhdistelmien määrä vuorokaudessa kaistalla

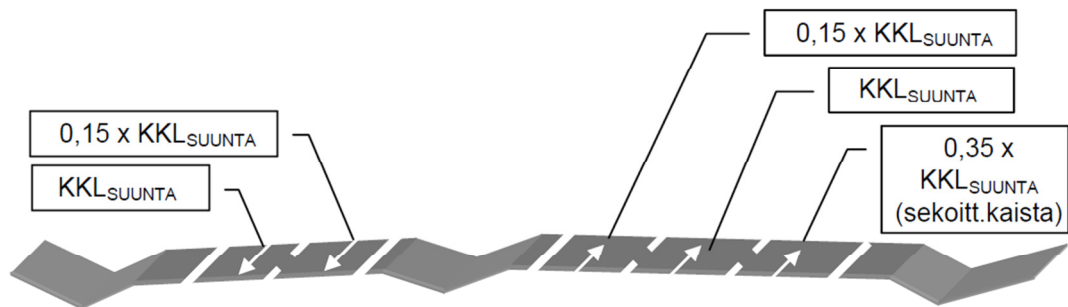
$KA_{MUU}$  on muiden raskaiden ajoneuvoyhdistelmien määrä vuorokaudessa kaistalla

$KA_{YHD.TÄYSI}$  on täysien ajoneuvoyhdistelmien määrä vuorokaudessa

$KA_{YHD.TYHJÄ}$  on tyhjien ajoneuvoyhdistelmien määrä vuorokaudessa

Kun samaan suuntaan on käytettävissä enemmän kuin yksi kaista, sovelletaan kaistakohtaisen kuormituskertaluvun laskemisessa kuvan 4 mukaisia lisäparametreja [1, s. 26-27].

Reunimmainen kääntyvä kaista tai yli 2 m piennar	Sekoittumiskaista	Pääkaista eli reunimmainen jatkuva kaista	Toinen jatkuva kaista	Kolmas jatkuva kaista	Vähintään 2,25 m leveä piennar
0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,35 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	1,00 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>	0,15 x KKL <sub>SUUNTA</sub>



Kuva 4. Laskennalliset lisäparametrit [1, s. 27].

## 2.6.2 Kuormitusluokat

Tien kuormitusluokka tulee suoraan tien kaistakohtaisen kuormituskertaluvun perusteella. Kuormitusluokkia on seitsemän erilaista: 0,1 AB, 0,4 AB, 0,8 AB, 2,0 AB, 6,0 AB,

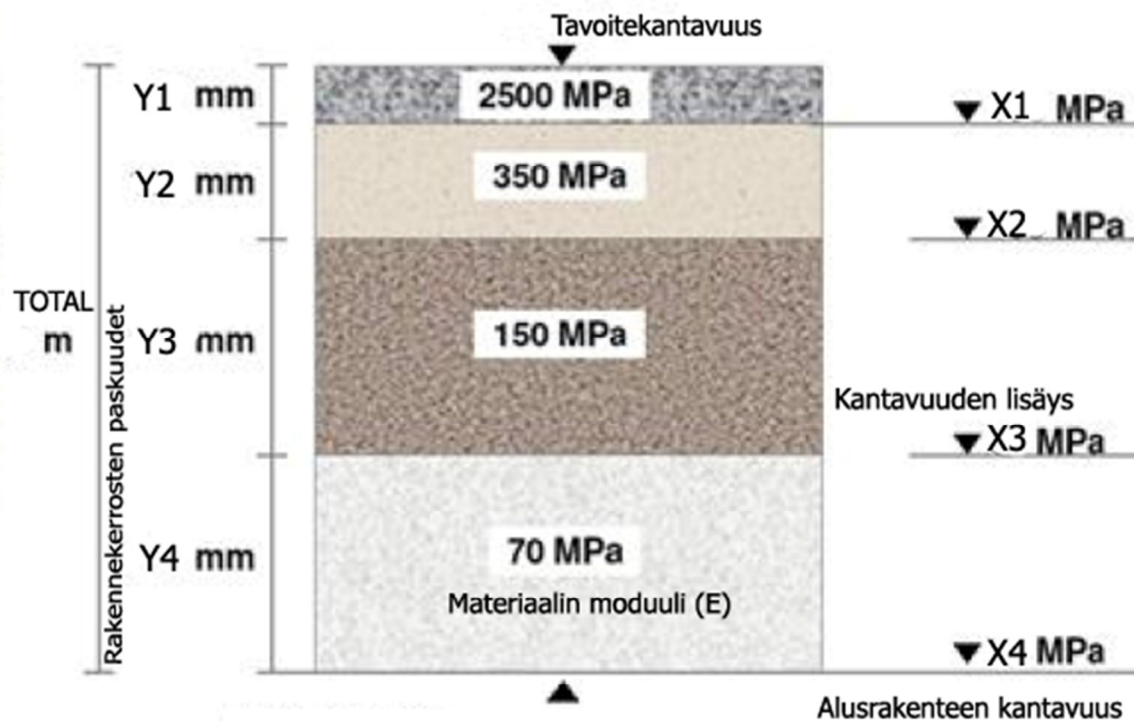


10,0 AB ja 25,0 AB. Pienin kuormitusluokka käsittää alle 150 ajoneuvon päiväkohtaisen liikenteen, kun suurimmassa kuormitusluokassa päästään yli 20000 ajoneuvoon. [1, s. 25-31.]

Kuormitusluokan perusteella saadaan tielle tavoitekantavuudet päällysteen ja kantavan kerroksen päältä. Lisäksi kuormitusluokka asettaa päällysteelle minimipaksuuden.

### 2.6.3 Odemarkin menetelmä

Odemarkin menetelmä on kuormituskestävyyden mitoitusmenetelmä. Kuormitusmitoituksen lähtötiedoksi tarvitaan vaadittu päällystetyyppi, päällystekerrosten vähimmäispaksuus, tavoitekantavuus ja alusrakenteen kantavuus. [1, s. 34.]



Kuva 5. Mitoitettavat rakennekerrokset

Moduulilla kuvataan materiaalin kykyä vastustaa sitä rasittavia voimia. Oletusrakenteen materiaalityypeille saadaan moduulit taulukkotiedoista (Liikenneviraston ohjeet, Tietoa tiensuunnitteluun nro 71D). Sitomattomia materiaaleja valittaessa on kuitenkin huomioitava, että materiaalin moduuli ei saa ylittää kuusinkertaisesti mitoitetun ker-

roksen alla olevan kerroksen moduulia, koska materiaalin tiiveys ei koskaan pääse optimitiiveyteen. [1, s. 33] [12, s. 4.]

Odemarkin menetelmässä lasketaan alusrakenteen pinnalta alkaen rakennekerrosten tuottama kantavuus Odemarkin kaavalla (kaava 7). Odemarkin kaavalla mitoittaessa tulisi pyrkiä löytämään rakenneratkaisu, jossa rakenteen kokonaispaksuus pidetään mahdollisimman ohuena, samalla huomioiden, että rakenne täyttää vaatimukset kantavuuden, roudan ja kustannustehokkuuden osalta. [1, s. 33.]

Kaava 7. Mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus on:

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0.81 \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0.81 \left(\frac{h}{a}\right)^2 \left(\frac{E}{E_A}\right)^{\frac{2}{3}}}}}$$

jossa:

$E_A$  on mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (MPa)

$E$  on mitoitettavan kerroksen materiaalin E-moduuli (MPa)

$h$  on mitoitettavan kerroksen paksuus (m)

$a = 0,15$  (m) (tulee levykuormituslaitteen levyn säteestä)

Odemarkin mitoitus soveltuu useimpiin kohteisiin, mutta siinä ei huomioida liikennekuormitusten aiheuttamia jännityksiä ja muodonmuutoksia rakenteen eri osissa. Myös materiaalien väsymiskestävyyseroja ei huomioida. Puutteista johtuen Odemarkin menetelmä ei sovellu esim. satama-alueiden ja kuormauspihojen suunnitteluun, vaan niiden suunnitteluun tarvitaan modernimpia menetelmiä, kuten monikerroksen menetelmää.

## 2.7 Routamitoitus

Tierakenteen mitoituksessa ilmastorasitusta kuvataan pakkasmäärällä. Pakkasmäärä voidaan laskea, jonka jälkeen sitä voidaan vertailla maantieteellisesti ja ajallisesti. Mi-

toittavana pakkasmääränä käytetään valitun tarkastelujakson aikana tilastollisesti ker-  
ran toistuvaa pakkasmäärää. Roudan syvyys ja sulamispehmenemisaika ovat suorassa  
suhteessa talven pakkasmääriin. [2, s. 82-96.]

Kaava 8. Pakkasmäärä

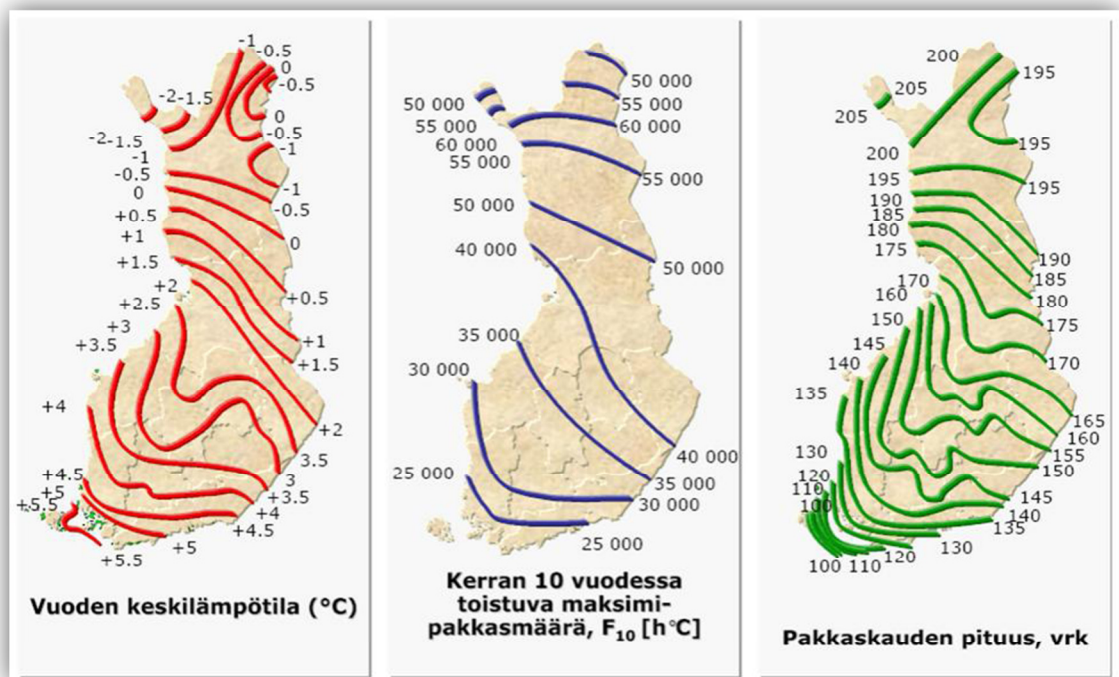
$$F = 24 * \sum_j (T_f - T_{dj})$$

jossa,

F on talven pakkasmäärä, h<sup>0</sup>C

T<sub>f</sub> on jäätymispiste 0 °C

T<sub>dj</sub> on vuorokauden keskilämpötila päivälle j, °C



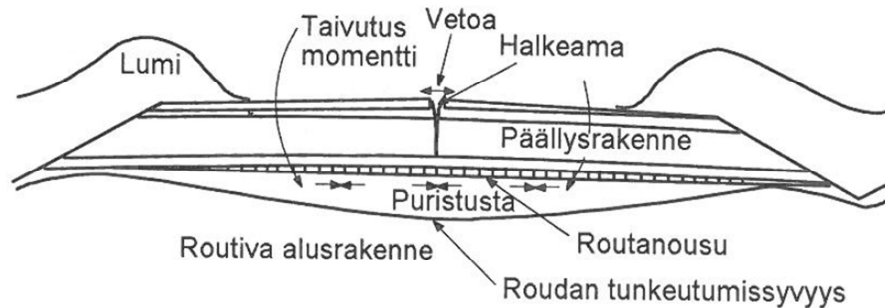
Kuva 6. Keskilämpötilan, mitoituspakkasmäärän ja pakkaskauden pituuden kartat. [2, s. 87].

Pakkasmäärien lisäksi routamitoitus vaatii alusrakenteen ja rakennekerroksissa käytettävien materiaalien tiedot. Tien rakennekerrokset voidaan rakentaa useasta eri materiaalista. Maamateriaalin routivuutta arvioidaan yleensä sen rakeisuuden perusteella. Routivien ja routimattomien maalajien raja-alueella voidaan routivuutta tarkastella laboratoriossa maalajin kapillaarisen nousukorkeuden perusteella.

Yleisemmin käytössä oleville maamateriaaleille on laskettu materiaaliikohtaiset routivuusvastaavuuskertoimet (liite 3), joita hyödynnetään tierakenteen routanousua laskettaessa.

Veden pääsy tierakenteisiin edesauttaa routimista. Tierakenteen suunnittelussa tulisi pohja-, sade- ja sulamisvesien pääsyä päällysrakenteisiin minimoida mahdollisimman tehokkaasti. Tieteknillisesti oikein toteutetut kaadot ehkäisevät veden patoutumisen ja näin ollen sen päätyminen tierakenteeseen, kun taas oikeat päällysrakenteet materiaallivalinnat estävät kapillaarisen nousun. [2, s. 82-96.]

Routamitoitus tehdään, jotta rakenteissa tapahtuva routanousu on hallittu. Routanousu, joka on usein epätasaista, aiheuttaa myös päällysteeseen epätasaisuutta, joka kasvaa routanousun kasvaessa. Epätasaisuus voi muuttaa pinnan kaltevuuksia ja aiheuttaa myös kuivanapitohaittaa.



Kuva 7. Routavaurion syntyminen [2, s. 323].

Roudasta aiheutuu vaurioita mm. pituussuuntaisina halkeamina tien keskilinjassa, routahalkeamina tien reunassa ja paikallisina kantavuudenvajauksina [2, s. 320-335].

Roudan paksuus vaihtelee pakkasmäärän, alusrakenneluokan ja päällysrakenteissa käytettyjen materiaalien perusteella. Tiesuunnittelussa roudan syvyys huomioidaan mitoitusroudan syvyytenä (liite 2). Suomessa mitoitusroudan syvyys vaihtelee 1.5 m - 2.2 metriin.

#### 2.7.1 Sallittu laskennallinen routanousu

Tien pinnan routanousulle esitetään laskennallinen vaatimus. Sallittuun laskennalliseen routanousuun ( $RN_{SALL}$ ) vaikuttavat tieluokka, liikennemäärät, nopeusrajoitus, rakenteen materiaalit ja pohjamaan tasalaatuisuus liitteen 1 mukaisesti. [1, s. 40.]

Kokonaan routimattoman tierakenteen laskennallinen routanousu ( $RN_{lask}$ ) saadaan kaavalla 9. Mikäli rakenteessa käytetään lievästi routivia materiaaleja, routanousu lasketaan kaavalla 10 (esimerkiksi moreenimurske jakavassa kerroksessa tai lievästi routiva suodatinhiekkä). [1, s. 42]

Kaava 9.  $RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 \text{ jne.}) \cdot t / 100$

Kaava 10.  $RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 - a_{rva} \cdot R_{rva} \text{ jne.}) \cdot t / 100 + R_{rva} \cdot t_{rva} / 100$

Jossa,

$RN_{lask}$  on laskennallinen routanousu (mm)

S mitoitusroudansyvyys (mm)

$R_i$  routimattoman kerroksen paksuus (mm), i on kerroksen nro

$a_i$  materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta

t alusrakenteen routaturpoama (%)

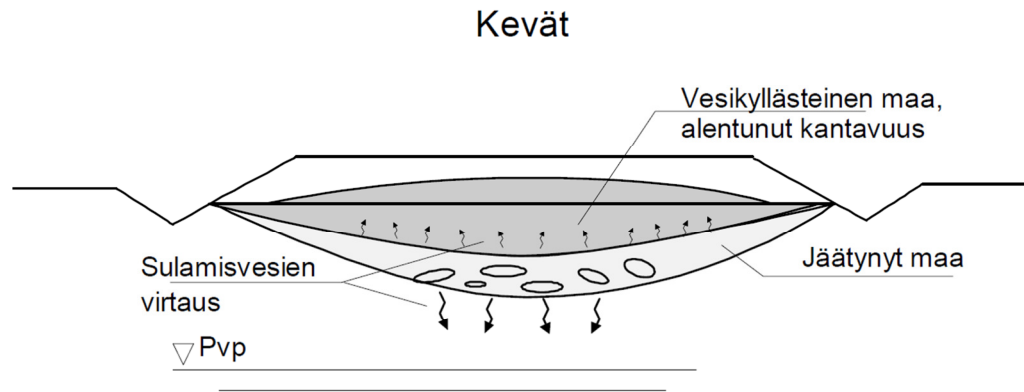
$R_{rva}$  routivan kerroksen paksuus (mm)

$a_{rva}$  routivan kerros materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta

Mitoitusroudan syvyys saadaan liitteestä 2 ja materiaalien vastaavuuskertoimet liitteestä 3 [1, s. 42].

### 2.7.2 Sulamisperhmeneminen

Vesi on aina läsnä tierakenteissa vapaan veden, kapillaariveden tai sidotun veden muodossa. Vapaana oleva vesi voi suuressa määrässä aiheuttaa tierakenteelle rakenekerrosten lujuuden alenemista. Erityisiä ongelmia rakenteissa oleva vesi aiheuttaa maan jäätyessä ja sulassa.



Kuva 8. Sulamispehmeneminen [2, s. 98].

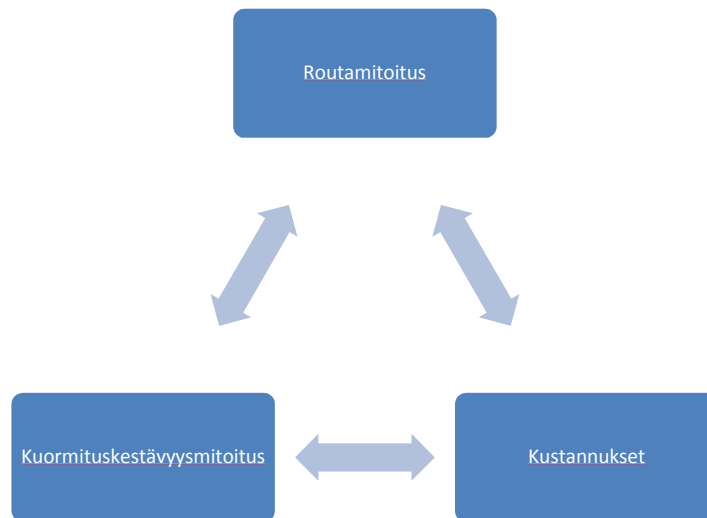
Routivaan pohjamaahan syntyy routautumisvaiheessa (maan jäätyessä) jäälinssejä. Jäälinsien muodostuessa maahan syntyy imupaine, joka kuljettaa lisää vettä routarajalle alemmista maakerroksista. Keväällä roudan sulaessa vapautuva vesi kyllästää sulavan maan vedellä. Koska sulaminen tapahtuu pääasiassa ylhäältä päin, vesi pääsee poistumaan vain ylöspäin tai sivuille. Mikäli purkautumisreittiä ei ole järjestetty, pohjamaa pysyy pitkään veden kyllästämänä ja huonosti kantavana. [6, s. 62- 63.][2, s. 119.]

### 3 Tyypillinen FMI:n mitoituskäytäntö

Seuraavassa on kuvattu FINNMAP Infrassa käytetty mitoitusmenettely, joka soveltuu suurimpaan osaan rakenteen suunnittelutehtävistä. Luku sisältää lähtötietojen hankinnan, rakenteelle tehdyt mitoitusmenpiteet sekä vaihtoehtoverailun.

Tierakenteen kuormituskestävyys- ja routamitoitus toteutetaan Excel-pohjalla, johon optimoidaan alusrakennekohtaiset rakenteet niiden kuormitusluokan, routavaatimusluokan sekä mitoitusroudan syvyyden perusteella. Valmis mitoituslaskelma annetaan tiesuunnittelijalle, joka mallintaa alusrakennekohtaisesti rakenteen suunnitelmiin. Valmiit Excel-tiedostot tallennetaan tulevaisuuden käyttöä varten.

Vaikka routa- ja kuormitusmitoitukset ovatkin toisistaan riippumattomia, toteutetaan ne vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. Lisäksi mitoituksessa tulee huomioida mitoitettavan rakenteen kustannukset.



Kuva 9. Suunnittelun vuorovaikutus

### 3.1 Valmiiden taulukoiden hyödyntäminen

Olemassa olevien Excel-tiedostojen käyttämiseksi täytyy suunnittelijan ensiksi määritellä mitoitettavan tien kuormitusluokka. Kuormitusluokan määrittelemiseksi on suunnittelijan laskettava tien kaistakohtainen kuormituskertaluku.

Kuormitusluokan selvittyä tarkastellaan mitoitusroutan syvyyttä (liite 2). Jokaiselle mitoitusroutasyvyydelle on olemassa erillinen kansio, joka sisältää routavaatimusluokan (Liite 1) ja määritellyn kuormitusluokan perusteella optimoidun tierakennetaulukon.

Tierakennetaulukossa on esitetty jokaista alusrakenneluokkaa kohden optimi tierakenne toteutettuna tyypillisimmillä rakennusmateriaaleilla (louhe-, murske- ja hiekkarakenteet). Taulukossa murskerakenteet on mitoitettu kahdella eri tavalla. Rakenne voidaan rakentaa käyttäen pelkkää murskeetta tai vaihtoehtoisesti mursketta ja hiekkaa. Lisäksi taulukko sisältää rakenteen, jossa hiekkaa on käytetty kantavuuden perusteella maksimimäärä. Taulukoissa on myös mitoitettu päällysrakennepaksuudet kun rakenteessa käytetään teräsverkkoa tai routalevyä.



### 3.2 Lähtötiedot

Tyypilliseen mitoitukseen tarvitaan liikennetietoja sekä maaperätietoja. Liikenteelliset tiedot käsittävät:

- tieluokan
- nopeusrajoituksen
- tarkasteltavan tien liikennemäärät
- yhdistelmäajoneuvojen ja muun raskaan liikenteen osuudet
- kaistan ja pientareiden yhteenlasketun leveyden.

Liikenteelliset tiedot voidaan saada tierekisteristä, kunnallisten liikennetietojen perusteella, tarkasta liikenneselvityksestä tai valmiina tilaajaorganisaatiolta.

Tarvittavat maaperää koskevat tiedot ovat:

- alusrakenneluokka (roudan asettama vaatimusluokka)
- alusrakenteen seka- tai tasalaatuisuus
- tasausviivan asemaan perustuva pohjamaan olosuhde.

Alustavat maaperätiedot saadaan mahdollisesti aikaisemmista maaperätutkimuksista. Tiesuunnittelun tarkentuessa tarkennetaan myös maaperätutkimuksia. Tarkemmat tutkimukset muuttavatkin usein oletettua alusrakenneluokkaa muuttaen täten myös päällysrakenteen rakennepaksumuksia.

#### 3.2.1 Tierekisteri

Tierekisteri on web-pohjainen Liikenneviraston vastuulla olevien teiden tietokanta. Tietokanta sisältää tiekohtaisesti tietoa muun muassa tien liikennemääristä, tien leveydes-

tä ja liikenteen kasvukertoimista. Tierekisteristä saatuja tietoja voidaan hyödyntää muun muassa kaistakohtaista tien kuormituskertalukua laskettaessa. [10]

### 3.2.2 Kuormituskertaluvun laskenta

Kuormituskertaluvun laskemista varten on FMI:ssa laadittu Excel-tiedosto, joka sisältää kuormituskertaluvun laskemiseen vaaditun laskentakaavan sekä Tiehallinnon ohjeesta irrotetut kuormitusluokkataulukot. Laskentakaavana käytetään kaavaa 1, koska lähtötietojen tarkkuus riittää usein tähän laskentamalliin. Mikäli tarkkaa ja luotettavaa liikennelaskentatietoa ei ole käytettävissä ja tien keskimääräinen vuorokausiliikenne on pienempi kuin 600 ajoneuvoa päivässä, lasketaan kuormituskertaluku käsin, muutoin laskenta suoritetaan Excelin avulla.

Laskennassa raskaan liikenteen osuus syötetään prosentuaalisina osuuksina keskimääräisestä vuorokausiliikenteestä. Laskennan jälkeen kaistakohtaista kuormituskertalukua verrataan kuormitusluokkataulukoon.

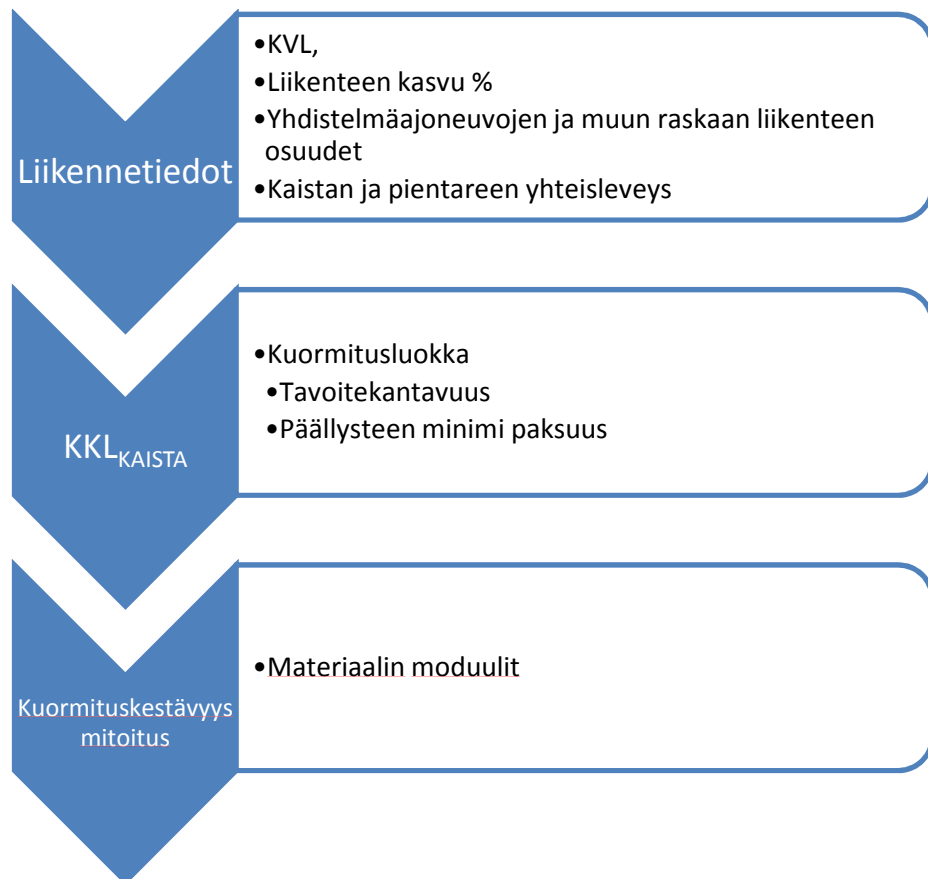
Kuormitusluokkataulukon avulla saadaan tielle kuormitusmitoituksen vaatimat tavoitekantavuudet päällysteen ja kantavan kerroksen päältä. Lisäksi kuormitusluokka määrää päällysteen minimipaksuuden. Esimerkki kuormituskertaluvun laskennasta ja kuormitusluokan määrittämisestä löytyy liitteestä 5.

### 3.3 Kuormituskestävyyden mitoitus

Rakenteen kuormituskestävyyden mitoitus toteutetaan käyttäen Odemarkin kaavaa. Kaavan tueksi on sen ympärille laadittu Excel-taulukko, jonka avulla kuormituskestävyyden mitoitus voidaan hoitaa kokonaisvaltaisesti. Laskennan lähtötiedoiksi tarvitaan:

- kuormitusluokka, josta saadaan rakenteelle:
  - tavoitekantavuus päällysteen päältä
  - tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä
  - päällysteen paksuus

- alusrakenne luokka, josta saadaan rakenteelle:
  - alusrakenteen kantavuus
- oletusrakennepaksuudet sekä Odemarkin laskukaavaan tarvittavat materiaali-kohtaiset E-moduulit.



Kuva 10. Kuormituskestävyyssmitoituksen kulku

Alusrakenneluokan perusteella saadaan pohjamaalle kantavuus. Kuormitusluokan asettamien tavoitekantavuuksien ja alusrakenteen asettaman kantavuuden perusteella mitoitetaan tielle päällysrakenteet. Odemarkin mitoitusmenetelmää käytettäessä saadaan eri alusrakenneluokasta riippuen päällysrakennemateriaaleille erilaisia ratkaisuja.

Tavanomaisessa mitoituksessa päällysrakenteet mitoitetaan siten, että jakava kerros voidaan rakentaa murskeesta tai louheesta. Mitoitus tehdään useammalla materiaalilla, koska materiaalien tekniset ominaisuudet kuormituskestävyyden ja roudansietokyvyn

suhteen poikkeavat. Lisäksi eri materiaalien käyttömahdollisuudet poikkeavat kohdekohtaisesti.

Tien päällyste saattaa koostua useasta eri kerroksesta. Koska Odemarkin menetelmä ei osaa ottaa huomioon kuumapäällysteiden jäykkyyseroja, tulee useampaa päällystettä käytettäessä laskea kuumapäällysteiden paksuudet yhteen. Yhtyeenliimaantuneet, ehjät bitumilla sidotut kerrokset, joiden  $E > 1500$  MPa, lasketaan yhtenä kerroksena, jonka moduuliksi otetaan osakerrosten moduulien paksuuksilla painotettu keskiarvo. Myös muissa rakenteissa tulee huomioda Odemarkin menetelmän puutteet. Laskennassa tulee rakennekerrosten paksuudet jakaa pienemmiksi lamelleiksi. Lamellipaksuutena voidaan käyttää esim. 0.20 metriä. Esimerkki kuormituskestävyyssitoituksesta käyttäen Odemarkin menetelmää löytyy liitteestä 6.

### 3.4 Routamitoitus

Toinen merkittävä mitoitus tierakenteen suunnittelussa on routamitoitus. Routamitoituksessa pyritään minimoimaan rakenteissa tapahtuvaa routanousua käyttämällä hyväksi suurimman sallitun laskennallisen routanousun kaavaa (kaava 8, 9). Tien mitoituksessa routaa ei pyritä kokonaan estämään, vaan löytämään sallitun laskennallisen routanousun puitteissa oleva rakenne, joka olisi kuormituskestävyydeltään ja kustannuksiltaan optimi.

Lähtötietoina routamitoitukselle on:

- routavaatimusluokka (liite 1)
- mitoitusroutan syvyys (liite 2)
- routimattoman kerroksen paksuus (mm)
- materiaalien routavastaavuuskertoimet (liite 3)
- alusrakenneluokan mukainen routaturpoama (taulukko 1, s. 11)

Sallittu laskennallinen routanousu lasketaan kuormituskestävyysmitoituksen yhteydessä. Laskettua routanousua verrataan routavaatimusluokan osoittamaan suurimpaan sallittuun laskennalliseen routanousuun. Laskennallinen routanousu ei saa ylittää suurinta laskennallista routanousua. Mikäli routanousun arvo ylittää suurimman sallitun arvon, täytyy rakennepaksuudet mitoittaa uudestaan routanousun asettamin ehdoin. Esimerkki routamitoituksesta löytyy liitteestä 7.

#### 3.4.1 Materiaalivaihtoehdot

Louhe-, hiekka- ja murskerakenteiden lisäksi on rakennemitoituksessa mitoitettava roudan tunkeutuvuutta hillitseviä ja rakenteissa muodonmuutosta estäviä rakenteita. Roudan tunkeutuvuutta hillitseviä rakenteita ovat routalevyt kuten XPS- ja EPS-eristeet.

Routalevyt alentavat merkittävästi roudan tunkeutuvuutta rakenteissa. Routalevyn käyttö onkin suotavaa tilanteissa, jossa routamitoituksen asettamat rakennepaksuudet ovat selkeästi suuremmat kuin kuormitusmitoituksen asettamat rakennepaksuudet. Lisäksi routalevyä voidaan hyödyntää tilanteissa, jossa paksujen rakennekerrosten rakentaminen on kuivatuksen tai maiseman takia epäsuotavaa. Kuormituskestävyysmitoituksessa routalevy huomioidaan muiden rakenteiden kaltaisesti.

Roudan vahinkoja tierakenteelle voidaan estää myös käyttämällä teräsverkkoa osana rakennetta. Teräsverkko ottaa vastaan roudan aiheuttaman momentin rakenteessa, ja täten estää routahalkeaman syntymisen. Teräsverkko huomioidaan suurimman sallitun laskennallisen routanousun yhteydessä (liite 1). Kuormituskestävyysmitoituksessa teräsverkkoa ei huomioida.

Perinteisten rakennusmateriaalien lisäksi voi käytössä olla sivutuotteita. Sivutuotteilla tarkoitetaan rakennustoiminnan, energiatuotannon, kaivosteollisuuden tai jonkun muun teollisuuden toiminnasta sivutuotteena syntyviä materiaaleja, joita voidaan käyttää rakennusmateriaalina tie- tai katurakentamisessa ilman, että rakenteen elinkaari, ympäristövaikutus tai jokin muu ominaisuus siitä kärsii. Rakennusmateriaalina sivutuotteita voidaan materiaalista riippuen käyttää joko yksittäin korvaamalla perinteinen rakenne, korvaamalla osittain nykyinen/uusi rakenne tai sitomalla sivutuotteella materiaali. Sivutuotteilla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä joko suoraan materiaalihankinnoissa tai epäsuorasti tierakenteen kerrospaksuuksien pienenemisenä.

### 3.5 Kustannusvertailu

Kustannusvertailu tehdään vuorovaikutuksessa kuormituskestävyysmitoituksen ja routamitoituksen kanssa. Kustannuksiin vaikuttavat rakennusmateriaalien hinnat, asennustyö, materiaalien kuljetusetäisyydet sekä rakennekerrosten paksuudet. Rakenteita suunnitellessa on hyvä huomioida materiaalien yleiset ja paikalliset hinnat. Yleishintataulukkona voidaan pitää infrarakentamisen kustannuslaskentaohjelman Foren, antamia hintoja.

Tietyömaalla saattaa lisäksi olla käytössä rakennuskerroksiin kelpaavia materiaaleja, jotka voivat leikata rakennuskustannuksia merkittävästi. Potentiaalisten rakenneratkaisujen kustannusvertailussa voidaan laskea tierakenteelle metrikohtainen hinta ja verrata näitä hintoja materiaalivalintojen perustella.

Taulukko 2. Esimerkki 10.0 AB; V2 - 1500 kustannusvertailusta

<b>Tasalaatuinen</b>	Poikkeavien rakenteiden hinnat/tiemetri	% kalliimpi
Murske	43	25%
<b>Murske + hiekka</b>	<b>35</b>	<b>0%</b>
Murske + hiekka + teräsverkko	53	52%
Murske + hiekka + routaeriste	75	117%
Louhe	44	25%
<b>Sekalaatuinen</b>	Poikkeavien rakenteiden hinnat/tiemetri	% kalliimpi
<b>Murske</b>	<b>55</b>	<b>0%</b>
Louhe	73	32%
Routaeriste	75	36%

Rakennevaihtoehtoja arvioidessa tulisi myös huomioida tien ulkonäköä. Paksut rakennekerrokset tulevat halvemmiksi kuin routaeristeillä tai teräsverkolla varustetut rakenteet, mutta korkea penger voi olla maiseman kannalta ikävä. Lisäksi eristerakennetta käytettäessä säästetään materiaalien kuljetus- ja läjityskustannuksissa.

## 4 Nykyisen mitoituskäytännön kehittäminen

Seuraavassa on kuvattu mitoitusprosessista irrotettuja kehitykseen soveltuvia osakokonaisuuksia.

### 4.1 Kustannusvertailun tehostaminen

#### 4.1.1 Kustannusvertailun nykytilanne

Nykyinen kustannusvertailu tehdään kantavuus- ja routamitoituksen kanssa vuorovai-  
kutuksessa. Kustannusvertailulla pyritään valitsemaan yleisimmistä päällysrakennema-  
teriaaleista (louhe-, murske-, hiekka- ja eristerakenne) edullisin.

Kustannusvertailu tehdään laskemalla potentiaalisille rakenteille oletushinta yhtä tie-  
metriä kohden. Laskenta tapahtuu hakemalla Exceliin materiaalien hintatiedot ja las-  
kemalla kunkin rakennekerroksen hinta sen tilavuuden perusteella.

Tien rakenteiden paksuudet vaihtelevat suuresti alusrakenneluokasta riippuen. Käyttä-  
essä uudestaan olemassa olevia mitoitustaulukoita tulisi kustannusvertailu suorittaa  
hankkeesta riippuen usealle eri rakenteelle, jotta kustannustehokkain rakenne löydet-  
täisiin.

Rakennushankkeen aikana saattaa käytössä olla useampia hintatietoja. Infra-alan kus-  
tannuslaskentaohjelma Fore ei välttämättä tarjoa aluekohtaisesti tarkinta mahdollista  
hintatietoa. Lisäksi monilla alueilla kaikkien päällysrakennemateriaalin saanti on ky-  
seenalaista.

#### 4.1.2 Kustannusvertailun kehitys

Hintatieto yksinään ei ole paras tapa määrittää oletusrakennetta. Todenmukaisempi  
käytäntö olisi valita oletusrakenteet materiaalin saatavuuden kannalta.

Vaikka käsin tehtävä laskeminen on toimiva tapa, on se kuitenkin mahdollista automa-  
tisoida. Nykyisten taulukkojen automatisointi saattaa osoittautua ongelmalliseksi, koska  
ne eivät ole keskenään täysin yhdenmukaisia.

Visiona onkin tuoda kustannuslaskenta lähemmäksi kantavuus- ja routamitoitusta. Reaaliaikainen kustannusvertailu mitoituksen yhteydessä palvelisi suunnittelijaa valitsemaan lähtökohtaisesti kustannuksiltaan halvimman rakenteen.

Reaaliaikaisen kustannusvertailun toteuttamiseksi tarvitaan luettelo käyttökelpoisista tienrakennusmateriaaleista ja niiden hintatiedot. Tätä tarvetta palvelemaan luodaan materiaalitalukko. Suljetun hintatiedon käytössä päädytään samaan ongelmaan kuin nykyisessä kustannusvertailussa: hintatiedot vaihtelevat liikaa alueittain.

Nykyisten taulukoiden uusiokäyttöön on kehitettävä tehokkaampi menetelmä kustannusvertailulle.

Vanhojen taulukoiden kustannusvertailun tehostamiseksi laaditaan käyttöliittymä vanhojen taulukoiden kustannuslaskennan tehostamiseksi. Käyttöliittymä voisi toimia periaatteella, jossa suunnittelija kopioi vanhan rakenteen uuteen käyttöliittymään, joka laskee rakenteelle oletusarvoollisen materiaalimenekin. Hinta muodostuisi vertaamalla materiaalimenekkiä materiaalitalukon hintoihin.

#### 4.2 Materiaalitalukko

Tien mitoittamisessa on jatkuva tarve tarkastella materiaalikohtaisia ominaisuuksia. Tyypillisimmät tienrakennuksessa käytettävät materiaalit voitaisiin koota yhteen isoon materiaalitalukkoon. Materiaalitalukon pohjana toimisi Excel-tilukko. Materiaaleista koottaisiin seuraavat tiedot:

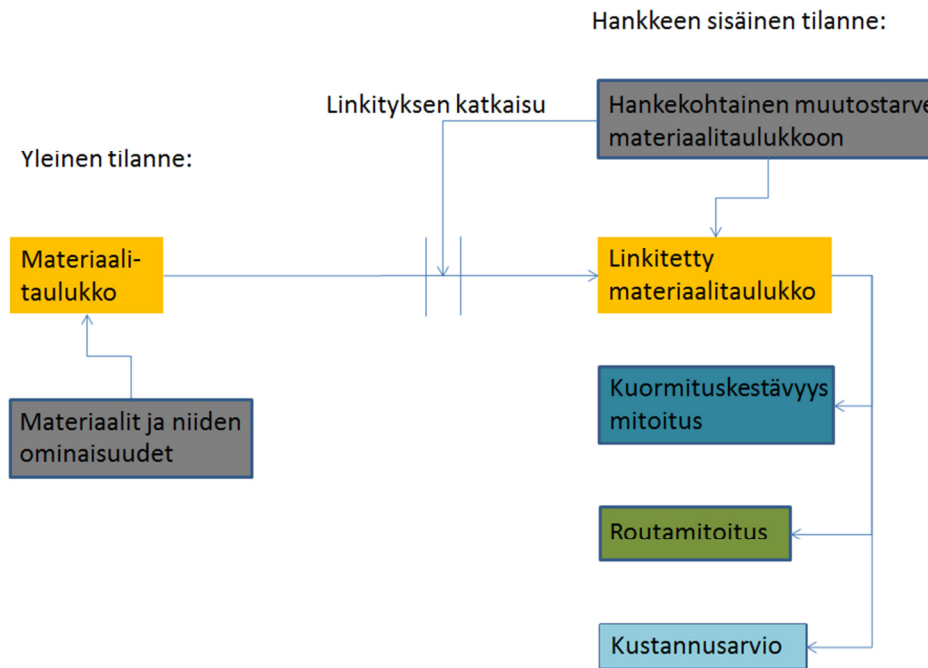
- kuvaus
- nimilyhenne
- moduuli. Tässä käytettävä nimenomaan Odemarkin kuormitusmitoituksen vaatimaa moduulia.
- routavastaavuuskerroin. Liitteen 2 mukaan.



- materiaalin hinta. Tässä on huomioitava, että materiaalihinnat ilmoitetaan joko kuutioina tai neliöinä. Taulukkoon on laadittava myös jokin erotin kuutio- tai neliöhintojen välille, jotta tietojen jatkokäsittely voidaan toteuttaa ohjelmoinnin avulla.
- minimipaksuus
- maksimikantavuus
- lähde. Varsinkin erikoisrakenteissa materiaaliominaisuudet saattavat poiketa suuresti valmistajasta riippuen. Esimerkiksi lentotuhkien ominaisuudet vaihtelevat tehdaskohtaisesti.

Koska taulukkoa täytyy pystyä päivittämään joko parametrien tai rakennusmateriaalien osalta, kannattaa materiaalitalukko jaotella materiaaliluokkiin. Materiaalit voitaisiin jaotella sidottuihin, hydraulisiin, sitomattomiin, erikoisrakenteisiin ja pohjamaihin. Routaeristeet ja teräsverkot sisällytettäisiin erikoisrakenteisiin.

Materiaalitalukko olisi kaikille hankkeille sama, eli se toimisi ns. yleisenä materiaalitalukkona. Tapauksessa, jossa materiaalitalukkoa joudutaan päivittämään hankekohtaisesti, voidaan yleisen materiaalitalukon ja hankkeen sisäisen materiaalitalukon välinen linkki katkaista. Yhteyden katkaisemisen jälkeen voidaan hankkeen sisäistä materiaalitalukkoa päivittää vastaamaan hankkeen asettamia tarpeita. Tiedon kulkua järjestelmässä voidaan kuvata prosessikuvauksen avulla:



Kuva 11. Materiaalitalukon prosessikuvaus

Materiaalitalukko linkitetään uuden päällysrakenteen luontiin tarkoitettuun Excel-ohjelmaan. Käyttämällä materiaalitalukkoa voidaan kuormituskestävyysmitoituksen yhteydessä ottaa helpommin huomioon routamitoitus ja kustannusarviointi.

#### 4.3 Olemassa olevien taulukoiden hyödyntäminen

Olemassa olevien taulukoiden käyttämiseksi täytyy suunnittelijan määritellä tien kuormituskertaluku, routavaatimusluokka, mitoitusroutan syvyys ja tietyyppi.

Kuormitusluokka määräytyy tien kuormituskertaluvun perusteella. Kuormituskertaluvun laskemista varten voitaisiin laatia nykyistä kehittyneempi Excel-pohja. Laskentaan tulisi sisällyttää kaikki kuormituskertaluvun laskentaan liittyvät vaihtoehtoiset laskentamallit.

Laskennassa tulisi huomioida lähtötietojen syöttötapa. Lähtötietojen syöttö kattaisi tilanteen, jossa kuormituskertaluku mitoitetaan käyttäen mitoitusvuoden keskimääräistä vuorokausiliikennettä tai vaihtoehtoisesti käyttäen nykyisen vuoden keskimääräistä vuorokausiliikennettä sekä liikenteen kasvukerrointa.

Lähtötietojen osalta täytyy suunnittelijan pystyä valitsemaan tiedon syöttötapa. Syöttötavan täytyy kattaa prosentuaalinen syöttö ja syöttö kappalemäärien perusteella, koska molempia tapauksia ilmenee lähtötiedoista riippuen.

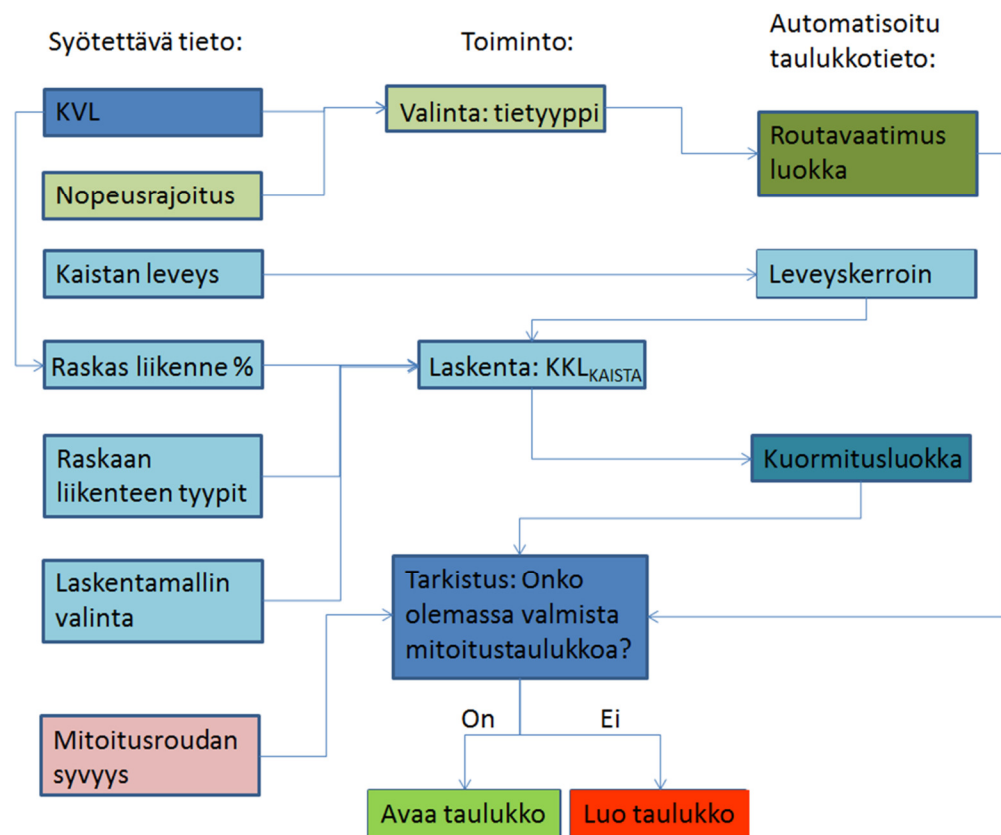
Routavaatimusluokka määräytyy keskimääräisen vuorokausiliikenteen, tieluokan ja nopeusrajoituksen perusteella. Suunnittelijan syöttämän nopeusrajoituksen ja keskimääräisen vuorokausiliikenteen perusteella pystytään sulkemaan pois ehtojen ulkopuolelle jäävät tieluokat. Suunnittelijan täytyy kuitenkin valita manuaalisesti jäljelle jäävistä tieluokista sopivin.

Koska paikkakuntakohtaista mitoitusroutan syvyys taulukkoa on turha laatia, joutuu suunnittelija vertamaan suunniteltavan tieosuuden sijaintia liitteen 3 karttaan.

Lähtötietojen syöttöön perustuva toteutusmalli mahdollistaa Liikenneviraston vaatimus-taulukoiden automatisoinnin. Syötettävää kaistan leveyttä voidaan automaattisesti verrata Liikenneviraston taulukkoon, josta määräytyy tien leveyskerroin. Kuormituskertalukua ja tien leveyskerrointa voidaan taas verrata suoraan kuormitusluokan määrävään taulukkoon.

Kaikki lähtötiedot täytettyään ohjelma hakisi FMI:n palvelimelta lähtöarvoja vastaavia taulukoita tai tarjoaisi mahdollisuuden laatia uuden mitoitus-taulukon. Haku voitaisiin toteuttaa käyttämällä Visual Basicia.

Tiedon kulkua uudessa Excel-pohjassa voidaan kuvata prosessikuvauksella:



Kuva 12. Valmiin taulukon määrittämisen prosessikuvaus

Koska olemassa olevat taulukot sisältävät louhe-, murske-, hiekka- ja eristerakenteet, täytyy uuteen Excel-pohjaan laatia hankkeen materiaalien saatavuus selvitys. Selvityksessä arvioitaisiin muun muassa:

- Onko hankkeessa tarvetta käyttää eristerakennetta?
- Syntykö hankkeessa louhetta, jos syntyy, niin kuinka paljon?
- Onko hankkeessa mahdollista käyttää hiekkaa?
- Onko hankkeessa mahdollista käyttää mursketta?

Selvitys toteutettaisiin vastaamalla selvityksessä esitettyihin kysymyksiin.

#### 4.4 Uuden rakenteen luonti käyttäen Odemarkin menetelmää

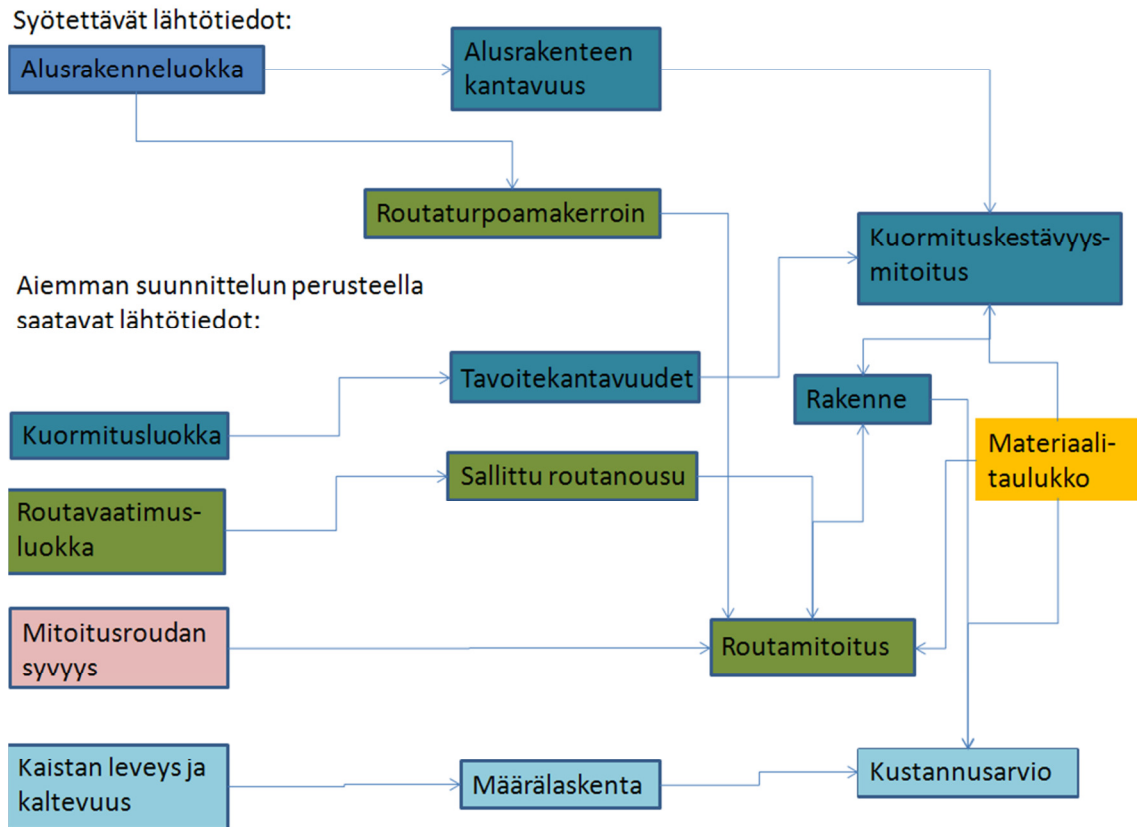
Tyypillisen mitoituksen tueksi voitaisiin laatia Excel-pohjainen laskentaohjelma, jolla voidaan mitoittaa rakenteita käyttäen Odemarkin menetelmää. Ohjelma tulisi käyttöön tilanteissa, jossa alusrakenneluokan, routavaatimusluokan, kuormitusluokan ja mitoitusroudan syvyyden vaatimaa valmista taulukkoa ei ole olemassa. Lisäksi ohjelmaa voitaisiin käyttää vaihtoehtoisten rakenteiden suunnitteluun ja mitoittamiseen.

Kuormituskestävyysmitoitus toteutettaisiin käyttämällä Odemarkin menetelmää. Rakennusmateriaalivalinnat ja muut tarvittavat lähtötiedot saataisiin materiaalitaulukosta. Kuormituskestävyysmitoituksen lisäksi voitaisiin uuden rakenteen suunnitteluun sisällyttää routamitoitus ja reaaliaikainen kustannuslaskenta.

Routamitoitus toimisi käyttäen sallitun laskennallisen routanousun laskentakaavaa. Lähtötiedot laskennalle saataisiin kuormituskestävyysmitoituksen lähtötiedoista sekä materiaalitaulukosta.

Suunnittelijan syöttämän kaistan leveyden ja rakennekerrosten kaltevuuden sekä oletusarvoisen luiskausmallin avulla voidaan tielle laskea metrikohtainen materiaalimenekki. Materiaalimenekin ja materiaalitaulukon hintatietojen perusteella saadaan tielle laskettua metrikohtainen hinta. Luiskausmallina voidaan käyttää porrastamatonta rakennetta, koska sillä saadaan tarpeeksi tarkka arvio materiaalimenekistä. Porrastamattomalla rakenteella tarkoitetaan rakennetta, jossa rakennekerrokset porrastetaan käyttämällä samaa luiskauskaltevuutta.

Lähtötiedot, kuten tavoitekantavuudet päällysteen ja kantavan kerroksen päältä sekä päällysteen minimipaksuudet, saataisiin suoraan olemassa olevien taulukoiden hyödyntämiseen tehdyn ohjelman kautta. Tiedon kulkua uuden rakenteen luonnissa voidaan kuvata prosessikuvauksen avulla:



Kuva 13. Uuden rakenteen luonnin prosessikuvaus

Alusrakenneluokan perusteella saadaan alusrakenteelle kantavuus sekä alusrakennemateriaalin routaturpoamakerroin suoraan taulukkotiedosta.

Uuden rakenteen luotuaan pitää suunnittelijan pystyä siirtämään rakenne suunnittelu-järjestelmään. Rakenteen siirto tapahtuu sitä varten luodun siirto-ohjelman avulla.

#### 4.5 Geoteknikon alusrakennetaulukko

Alusrakenteiden määrittäminen tarkentuu suunnittelun edetessä. Tapauksessa, jossa alusrakenteen määrittäminen muuttuu, valitaan mitoitus- ja taulukosta tielle uusi alusrakenneluokan vaatima päällysrakenne.

Rakenteiden siirtoa suunnittelu-järjestelmään voitaisiin tehostaa laatimalla geoteknikoiden käyttöön yhdenmukainen alusrakennetaulukko. Alusrakennetutkimusten tarkentuessa kirjaa geoteknikko uuden alusrakennemäärityksen ja paaluvälin taulukkoon.

Yhdenmukainen taulukko mahdollistaisi ohjelmoitavien hakujen suorittamisen taulukolle. Taulukkohakua voitaisiin käyttää mitoitusrakennetaulukon asettamien päällysrakenteiden hakuun. Mikäli alusrakennemääritys muuttuu, hakee ohjelma automaattisesti oikeat päällysrakenteet sekä muuntaa päällysrakenteen suunnittelujärjestelmän ymmärtämään muotoon.

Päällysrakenteen muuntaminen toimisi sitä varten suunniteltavan muunto-ohjelman avulla. Muunto-ohjelma voitaisiin toteuttaa käyttäen Visual Basicia.

#### 4.6 Päällysrakenteen siirto suunnittelujärjestelmään

Olemassa olevia sekä uusia päällysrakenteita tulisi pystyä siirtämään suunnittelujärjestelmään ohjelmoidusti. Rakenteen siirtäminen voitaisiin toteuttaa Excel-pohjan avulla.

Uusi pohja toimisi tulkkina päällysrakenteen ja suunnittelujärjestelmän välillä. Taulukko muuntaisi suunnitellun rakenteen suunnittelujärjestelmän ymmärtämäksi tekstitiedostoksi. Lisäksi taulukko muotoilisi tekstitiedoston suunnittelujärjestelmän kaltaiseksi. Muunto ja muotoilu voidaan toteuttaa Visual Basicin avulla.

Siirto-tilukkoa voitaisiin käyttää uuden rakenteen luonnissa, vanhojen taulukoiden uusiokäytössä sekä geoteknikon alusrakennetaulukon yhteydessä.

## 5 Johtopäätökset

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia FINNMAP Infran nykyistä mitoituskäytäntöä ja käytäntöjen toimivuutta. Tulokseen päädyttiin perehtymällä Liikenneviraston mitoittamisohjeisiin ja rinnastamalla ne nykyisiin käytäntöihin. Tutkimuksen lopuksi voitiin prosessista irrottaa toteutuskelpoisia osakokonaisuuksia, joilla mitoittajan ja suunnittelijan työtä voidaan helpottaa ja tehostaa.

Suurin osa suunniteltavista parannuksista koski tiedon kulun automatisointia. Nykyisessä mitoituskäytännössä tieto liikkuu manuaalisesti, vaikka mitoitukseen vaadittavia lähtötietoja joudutaan käyttämään useassa eri mitoittamisen vaiheessa. Lisäksi mitoitusprosessi sisältää paljon manuaalisesti tehtävää taulukkovertailua.

Suunnittelijan kannalta eniten toiveita tuli rakenteen siirtämisestä suunnittelujärjestelmään. Nykyinen manuaalinen käytäntö on työläs ja aikaa vievä prosessi. Lisäksi geosuunnitelmien tarkentuessa joudutaan rakenteita muokkaamaan suunnittelujärjestelmässä useampaan otteeseen.

Toteuttamalla kehitysideat voidaan suunnittelijan ja mitoittajan työtä huomattavasti tehostaa. Uusi käytäntö poistaa mitoitus- ja suunnitteluprosessista manuaalista työn tekoa, joka on suora etu ajankäytön ja tarkkuuden osalta. Ohjelmoimalla voidaan mitoitusprosessista poistaa epäselvyyksiä ja yhdenmukaistaa koko mitoituskäytäntöä.

Teoriaosuuden kannalta heräsi kysymys eri kuormituskestävyyden mitoitusmenetelmien käytöstä. Modernimpia menetelmiä tulisi harkita pääasiallisena mitoitusmenetelmänä. Tämä tarkoittaisi sitä, että suunnitteluhankkeiden tilaajaorganisaation tulisi velvoittaa niiden käyttämistä. Modernimman kuormituskestävyys mitoitusmenetelmien käyttöönotto saattaisi aiheuttaa hetkittäisen lisäkustannuksen sekä tilaaja- että suunnitteluorganisaatioille, mutta sillä voitaisiin saada huomattavia säästöjä rakennuskustannuksissa.



## Lähteet

- [1] Tiehallinto. Tierakenteen suunnittelu. Edita Prima Oy. Helsinki 2004  
<<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>>. Luettu 2.3.2012.
- [2] Ehrola, Esko. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Rakennustieto Oy. Helsinki.
- [3] Tekes. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa. Helsinki 2000.
- [4] Tiehallinto, Tien rakennekerrosten materiaalit, Tiehallinnon selvityksiä 66/2001, Edita Oyj, Helsinki <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/materiaalit66-2001.pdf> Luettu 5.3.2012
- [5] Lemminkäinen Infra Oy. Asfalttipäällysteet. 2009  
<<http://www.rakennustieto.fi/Downloads/Tarviketieto/pdf/37828.pdf>>  
Luettu 5.3.2012
- [6] Tiehallinto. Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus. Tiehallinnon selvityksiä 7/2002. <[http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/suunjarj\\_kuv\\_7.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/suunjarj_kuv_7.pdf)> Luettu 12.3.2012
- [7] Belt, J., Lämsä, V-P., Savolainen, M. & Ehrola, E. 2002. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002. Helsinki: Edita Prima Oy
- [8] Asfalttinormit 2008. PANK ry. Edita Oy. 2007.
- [9] Tiehallinto. Päällysrakenteen stabilointi. Helsinki. 2007.[http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100055-v-07paallysrakenteen\\_stabilointi.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100055-v-07paallysrakenteen_stabilointi.pdf) Luettu 23.3.2012

- [10] Liikennevirasto. Tierekisteri. 2012.  
<[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/konsulteille/tierekistei](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/konsulteille/tierekistei)> Luettu 24.4.2012
  
- [11] NCC Infrapalvelut, Päällysteen valinta. 2012.  
[http://www.ncc.fi/infrarakentaminen/paallystys/paallysteen\\_valinta/](http://www.ncc.fi/infrarakentaminen/paallystys/paallysteen_valinta/) Luettu 15.3.2012
  
- [12] Oulun yliopisto, Tierakenteen toiminta, vauriomekanismit ja rakenteen parantamisen perustat. 2009.  
<<http://www.oamk.fi/~turunen/Vauriomekanismit.pdf>> Luettu 24.4.2012

## Suurin sallittu laskennallinen routanousu

Taulukko suurimmasta sallitusta laskennallisesta routanoususta [1, s. 41].

Taulukko 12. Suurin sallittu laskennallinen routanousu  $R_{N_{\text{sal}}}$ , jota verrataan kaavalla 8 tai 9 saatuun laskennalliseen routanousuun  $R_{N_{\text{est}}}$ .

Vaatimusluokat V1...K2 ja niitä ku- vaavia tietoja mm. mitoitusnopeus	Suurin sallittu laskennallinen routanousu (RN <sub>gali</sub> )					Siirty- mäki- lan kalte- vuus 1 : k <sup>4)</sup>
	Tasalaatuinen pohjamaa <sup>1)</sup>			Sekalaatuinen pohjamaa <sup>1)</sup>		
	Ei teräsverkkoa		Teräsv- erkko <sup>3)</sup>	Ei teräs- verk- koa	Teräs- verkko <sup>3)</sup>	
	Norm. tapaus	Louhe- rak- ym. <sup>2)</sup>				
V1, Moottoriväylät (Mo, mol)	30	30	30	0	0	1:40
V2, Päätiät (Vt, Kt) 80 - 100 km/h	70	70	100	10	10	1:30
V3, Seudulliset tiät 80...100 km/h ja KVL > 1000 ajon/vrk	100	70	130	10	10	1:20
V4, Seudulliset tiät 60 km/h tai KVL < 1000 ja paikallisiväylät KVL > 1000 ajon/vrk	130	70	160	30	100	1:15
V5, Paikallisiväylät, KVL 400...1000 ajon/vrk	160	100	ei rajaa	70	130	1:15
R1, Reunatuellinen tai viemäroity, 80 km/h, KVL yli 1000 ajon/vrk	30	30	30	0	0	1:30
R2, Reunatuellinen tai viemäroity, 50...70 km/h, KVL yli 1000 ajon/vrk	70	70	100	0	0	1:30
R3, Reunatuellinen tai viemäroity, alle 50 km/h, KVL alle 1000 ajon/vrk	Paikallisen (kuntakohtaisen) käytännön mukaan					
K1, Kevyenliikenteentie, erillinen, päällystetty	70	70	160	30	130	1:10
K2, Kevyenliikenteentie, korotettu	Kuten ajoradalla					

1) Tasalaatuisuus ja sekalaatuisuus (epätasalaatuisuus) arvioidaan kohdan 3.3 mukaan.

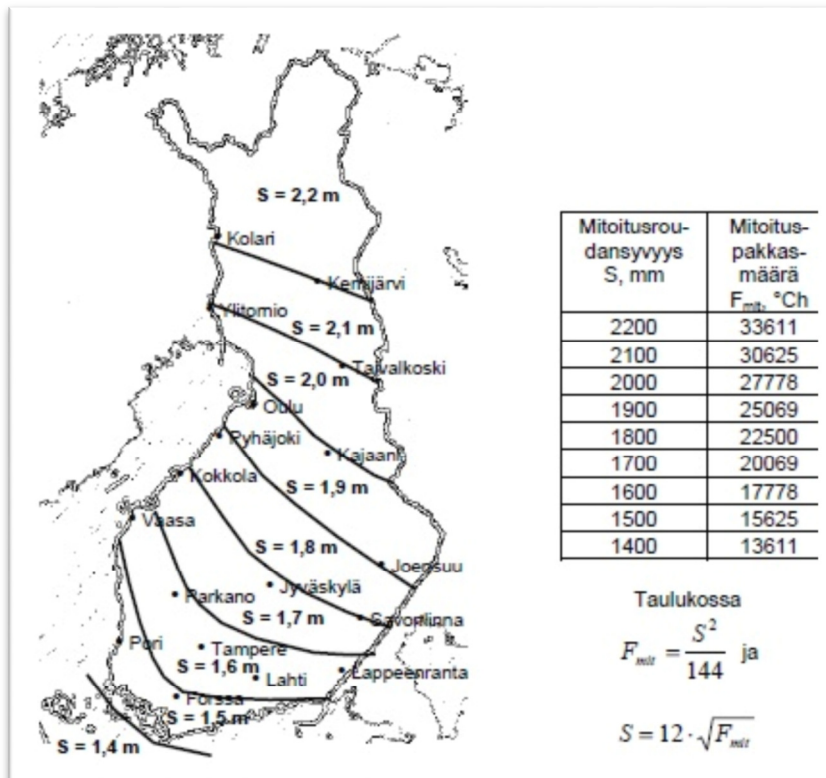
2) Koskee louhetta, solumuovia tai sementtistabilointia (SST) sisältäviä rakenteita.

3) Teräsverkolla tarkoitetaan julkaisun Teiden suunnittelu IV 7 Rakenteen parantaminen (1991) kuvan 72:3 mukaista teräsverkkoa tai pituushalkeamien torjuntaan yhtä tehokkaaksi (pieni venymä) osoitettua verkkoa tai muuta ratkaisua.

4) Hiekkatäytteisen siirtymäkiilan pohjan kaltevuus suhteessa tien tasausviivaan. Muista materiaaleista tehtävän kiilan pituus on sama kuin hiekkakiilan pituus, mukaan luettuna lämpöeristeistä tehtävät kiilat.

## Mitoitusroudan syvyys

Kartta mitoitusroudan syvyydestä [1, s. 43].



## Materiaalien vastaavuuskertoimet

Taulukko materiaalien vastaavuuskertoimista [1, s. 43].

*Taulukko 13. Materiaalin vastaavuus eristävyyden kannalta ( $a_i$ ).*

Kerrosmateriaali	Materiaalin vastaavuus eristävyyden kannalta, $a_i$
Hiekka	1,0
Bitumilla sidotut	1,0
Sora, murske	0,9
Louhe	0,8
Kuonamurske, kappalekuona	1,6
Kuonahiekka, masuunihiekka	1,7
Kevytsora (KS) 0,7 m syvyydessä, kuivatiheys enintään 400 kg/m <sup>3</sup> , KS:n alla 0,15 m kuivatuskerros	4
Suulakepuristettu polystyreeni (XPS) 0,7 m syvyydessä, XPS:n alla 0,15 m kuivatuskerros	20
Paisutettu polystyreeni (EPS) 0,7 m syvyydessä, EPS:n alla 0,15 m kuivatuskerros	15

## Leveyskerroin

Taulukko tien leveyskertoimesta [1, s. 25].

*Taulukko 3.1. Kaistan leveyskertoimen (L) riippuvuus kaistan leveydestä ja tien sisäluiskan kaltevuudesta.*

Kaistan ja viereisen pientareen yhteisleveys <sup>1), 2)</sup>	Tien sisäluiskan kaltevuus <sup>3), 4)</sup>	Leveyskerroin L
2,5 ... 3,49 m	1 : 2 ... 1 : 2,5	2,8
2,5 ... 3,49 m	1 : 3 ... 1 : 4	2,0
3,5 ... 5 m	1 : 3 ... 1 : 4	1,4
yli 5 m		1

<sup>1)</sup> Rampeilla otetaan huomioon leveämpi piennar.

<sup>2)</sup> Jos kaistan kummallakin puolella on ajokaista, sovelletaan taulukon alinta riviä

<sup>3)</sup> Kaiteellinen poikkileikkaus, jossa on kaidelevennys ja luiskakaltevuus 1 : 1,5 vastaa luiskankaltevuutta 1:3 ( $L \leq 1,4$ ).

## Kuormituskertaluvun laskeminen ja kuormitusluokan määrittäminen

Laskentaesimerkki kuormituskertaluvun ja kuormitusluokan määrittämisestä

Kuormituskertaluvun laskeminen ja kuormitusluokan määrittäminen

Lähtötiedot:

Mitoitusvuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne	7000 ajo. /d
Raskaiden ajoneuvojen osuus keskimääräisestä vuorokausiliikenteestä	11 %
Yhdistelmien osuus rakaista ajoneuvoista	70 %
Tien ja pientareen yhteislevyys:	6 m
Kaistojen lukumäärä	2

Kaistan leveyden perusteella saadaan tien leveyskertoimeksi (L) liitteen 4 mukaan: 1

Laskennassa arvioidaan 20 vuoden päästä olevaa kuormituskertalukua.

Kuormituskertaluku lasketaan kaavalla:

$$KKL_{KAISTA} = L * (2.9 * K_{AYHD} + 0.8 K_{AMUU}) * 7300$$

$K_{AYHD}$  saadaan laskettua:  $7000 * 0.11 * 0.7$  josta saadaan yhdistelmien lukumääräksi: 539

$K_{AMUU}$  saadaan laskettua:  $7000 * 0.11 * (1 - 0.7)$  josta saadaan muiden raskaan liikenteen lukumääräksi: 231

$KKL_{KAISTA} = 1 * (2.9 * 539 + 0.8 * 231) * 7300$  joka on 12759670

Koska kaistoja on kaksi jaetaan KKL kahdella 6379835

Kuormituskertalukua verrataan miljoonina 6.379835

*Taulukko 8. Kuormitusluokan 10,0 (ent. 1) tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet. Kuormitusluokkaa 10,0 käytetään, kun leveydellä korjattu kaistan KKL<sub>20vuotta</sub> on 6,0...10,0 milj. akselia, mikä vastaa liikennemäärää 8000...14000 ajon/d molemmat suunnat yhteensä, kaksiajorataisella tiellä 12000...20000 ajon/d.*

KKL-luokka (Vaiheittainrakentamisaika)	10,0 AB	10,0 AB	10,0 AB
Tavoitekantavuus (0...6 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	420 MPa 170 mm	380 <sup>2)</sup> MPa 150 mm	490 MPa 130 mm
Tavoitekantavuus (0...2 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	360 MPa 140 mm	325 MPa 120 mm	
Tavoitekantavuus (0 v.) ja päällysteen kokonaispaksuus	285 MPa 100 mm	270 MPa 90 mm	420 MPa 100 mm
Tavoite kantavan päältä (MPa)	160 MPa	160 MPa	265 MPa
Kantavan laatu	M tai MHST	BST	SST

Vertaamalla lähtötietoja Liikenneviraston taulukoihin saadaan tielle määritettyä kuormitusluokkaa

10,0 AB

## Kuormituskestävyyden laskeminen Odemarkin kaavalla

### Laskuesimerkki Odemarkin kaavalla laskemisesta

Kuormituskestävyyden laskeminen Odemarkin kaavalla

Lähtötiedot:

Kuormitusluokka

10,0 AB

Alusrakenneluokka

uE

Työmaalla käytössä paljon mursketta ja hiekkaa

Päällysteenä

AB

Luokka	A	B	C	D	uE	uF	uG	uH	uI
Moduuli MPa	280	200	100	70	50	35	10	20	20
I-arvo, %	0	0	0	0	3	6	6	12	16
Materiaali tai kelpoisuus luokkaa ja märkyys	Louhe	Murske	kuS1 mS1	kuS2 kuH1 mH1	mS2 kuS3 kuH2 mH2	kuH3-4 kuS4 jlySa staS1 staS2/My staSa	penSa lj	mS4 mH3-4 kuS5 kuS6/My kerrall. kuSa/3i	mS1 mS6/My kerrall. mS4/3i

Taulukon merkinnät: ku = kuiva, m = märkä ja normaali, sta = stabiloitu  
jly = jätetty (s<sub>v</sub> ≥ 40 kPa), pen = pehmeä (s<sub>v</sub> < 40 kPa), kerrall. = kerrollinen

Alusrakenneluokan perusteella saadaan alusrakenteen kantavuudeksi:

50 MPa

Kuormitusluokan perusteella:

Tavoitekantavuus päällysteen päältä

420 MPa

Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä

160 MPa

Kantavuuden lisäys lasketaan alimmasta kerroksesta lähtien Odemarkin kaavalla:

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0.81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^4}}\right) \frac{E_A}{E_p} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0.81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^4} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{\frac{2}{3}}}}$$

jossa:

E<sub>A</sub> on mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (MPa)

E on mitoitettavan kerroksen materiaalin E-moduuli (MPa)

h on mitoitettavan kerroksen paksuus (m)

a = 0,15 (m) (tulee levykuormituslaitteen levyn säteestä)

Laskenta voidaan suorittaa Excel-pohjalla

Laskennassa optimoidaan materiaaliratkaisut sekä rakennepaksuudet

Materiaalimoduulit saadaan Liikenneviraston oppaasta: Tietoa tiensuunnitteluun nro 71D

Esimerkki kuormitusmioituksesta

	h (m)	Emat (MPa)	E2 (MPa)	suhde Ei/E2(i-1)
AB	0.17	2500	422	15
KaM 0/45	0.2	280	163	3
KaM 0/63	0.14	280	107	4
	0.1	280	70	6
Hk	0.2	50	50	1
	0.2	50	50	1
	0.2	50	50	1
	0.2	50	50	1
Alusrakenne			50	
Kerrospaksuus	1.41			



## Sallittu laskennallinen routanousu

Laskuesimerkki sallitusta laskennallista routanoususta

Sallittu laskennallinen routanousu

Lähtötiedot:

Tietyyppi	Valtatie
Vaatusluokka (liite 1)	V2
Alusrakenneluokka	tE
Alusrakenteen perusteella routaturpoama:	3 %
Mitoitusroudan syvyys	1500 mm
Rakennekerrosten paksuudet:	
AB	0.17 m
KaM	0.44 m
HK	0.8 m

Tien vaatusluokka määräytyy tien luonteen, nopeusrajoituksen ja KVL:n perusteella

Maaperän laadun ja tietyypin perusteella saadaan liitteestä yksi sallittu laskennallinen routanousu

70 mm

Mitoitusroudan syvyys saadaan liitteestä 2

Maaperän laatu määritetään Liikenneviraston ohjeen Tierakenteen suunnittelu kappaleen 3.3 mukaan

Rakennekerrosten paksuudet saadaan kuormituskestävyyssmitoituksesta

Laskennallinen routanousu rakenteessa saadaan laskettua kaavalla:

$$RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 \text{ jne.}) \cdot t / 100$$

jossa,

$RN_{lask}$  on laskennallinen routanousu (mm)

S mitoitusroudansyvyys (mm)

$R_i$  routimattoman kerroksen paksuus (mm), i on kerroksen nro

$a_i$  materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta

t alusrakenteen routaturpoama (%)

Materiaalin vastaavuuskertoimet saadaan liitteestä 3

Laskenta voidaan toteuttaa Excel-pohjalla

Sallittu routanousu = 70 mm (TIEH)				
	h	ai	t	RN
AB	0.17	1.00		
KaM	0.44	0.90		
Hk	0.80	1.00		
Turpoamakerroin			0.03	
Rakennepaksuus	1.41			4 < 70

Laskennallinen routanousu on pienempi kuin sallittu routanousu OK

## Prosessikuvaus

### Mitoituksen prosessikuvaus

